



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E
CONSERVAÇÃO



Distribuição geográfica de *Pyriglena* spp. (AVES: THAMNOPHILIDAE): avaliando o efeito de clima, interação biótica e complexidade do habitat

Caroline Silva dos Santos

São Cristóvão
Sergipe-Brasil, 2018

Caroline Silva dos Santos

Distribuição geográfica de *Pyriglena* spp. (AVES: THAMNOPHILIDAE): avaliando o efeito de clima, interação biótica e complexidade do habitat

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

Orientador: Dr. Sidney Feitosa Gouveia
Coorientador: Dr. Juan Manuel Ruiz-Esparza Aguilar

**São Cristóvão
Sergipe-Brasil, 2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

S237d

Santos, Caroline Silva dos
Distribuição geográfica de *Pyriglena* spp. (AVES : *Tamnophilidae*) avaliando o efeito do clima, interação biótica e complexidade do habitat / Caroline Silva dos Santos ; orientador Sidney Feitosa Gouveia. – São Cristóvão, 2018.
51 f. : il.

Dissertação (mestrado em Ecologia e Conservação)–
Universidade Federal de Sergipe, 2018.

1. Ecologia - Conservação. 2. Habitat (Ecologia). 3. Habitat - Perdas. 4. Formiga-de-correição. I. Gouveia, Sidney Feitosa, orient. II. Título

CDU: 574:598.281.5

TERMO DE APROVAÇÃO

DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE *Pyriglena spp.* (AVES: THAMNOPHILIDAE): AVALIANDO O EFEITO DE CLIMA, INTERAÇÃO BIÓTICA E COMPLEXIDADE DO HABITAT

por

CAROLINE SILVA DOS SANTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação.

APROVADA pela banca examinadora composta por



DR. SIDNEY FEITOSA GOUVEIA

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Sergipe



DR. ANDERSON AIRES EDUARDO

Universidade Federal de Sergipe



DR.ª ADRIANA BOCCHIGLIERI

Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da
Universidade Federal de Sergipe

São Cristóvão/SE, 26 de julho de 2018

Dedicatória

Dedicado a Miguel, minha maior inspiração!

*E a todas as mulheres que dividem suas vidas
entre a pesquisa científica e a maternidade!*

Agradecimentos

Primeiramente agradeço à CAPES pela bolsa concedida, à Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação pela oportunidade e pelo suporte para que este estudo fosse realizado.

Ao meu orientador Sidney por toda a paciência que teve comigo durante essa jornada. A sua postura como profissional e de ser humano diante de minha situação foi fundamental para eu chegar aqui hoje e defender nosso trabalho. Obrigada por ter confiado em mim!

Ao meu coorientador Juan pelo apoio e incentivo na execução do nosso trabalho.

Aos colegas de pós-graduação, em especial a turma 2017.1 que me adotou como se tivesse entrado no mestrado com eles, vocês vão ficar para sempre no meu coração. Obrigada pelos abraços no corredor, as palavras de incentivo, apoio psicológico e os momentos de descontração. Foi uma honra ter estado em sala de aula com todos vocês. Agradeço especialmente ao mestre Danilo melhor companheiro de estudos, a Drica meu amorzinho (obrigada por amar Miguel) e a Cris a melhor parceira de trabalho em dupla da história.

Aos colegas do laboratório de Biologia da Conservação, por dividir comigo as paranóias e inseguranças que todo aluno carrega. Pelas discussões, risadas, pelas dúvidas tiradas, pela ajuda com o R e outros programas, pelas melhores conversas na fila do resun, principalmente por me aguentarem falando (sozinha) com minha dissertação. A Davi pelo suporte com SDM, Thalyta pela ajuda com a finalização das figuras de adequabilidade, Helon por tudo que você me ajudou nesses meses de finalização do trabalho, a Mônica, Erivelton, Raone, Patrício, Eduardo, Jéssica e a minhas maravilhosas deusas Isadora, Arivânia e Nathasa.

À Juliana, secretaria do PPEC, por todo apoio burocrático, apoio psicológico e o incentivo de mãe e para a mãe durante todo o mestrado.

A Danilo Costa que mesmo estando distante, aguentou todo o drama que um amigo de uma pós-graduanda pode suportar. Obrigada por sua amizade!

Aos meus pais, Maria e Edvaldo, obrigada por estarem comigo em qualquer situação. Mainha você é a melhor mulher e melhor vovó desse mundo. Eu continuo amando vocês!

Ao meu companheiro Saul, obrigada amoinho por atravessar comigo esta fase e por ser parceiro na lida diária com nosso porquetinho. Eu te amo!

Por fim, agradeço a Miguel, meu filho, meu amor, meu maior desafio e minha mais bela inspiração. Você me faz um ser humano melhor e também uma pesquisadora melhor.
Obrigada por estar aqui!

Muito obrigada a todos e que venham novos desafios!

Sumário

Lista de Figuras	vi
Lista de Tabelas	viii
Resumo	ix
Abstract.....	x
Introdução	11
Objetivos.....	15
Geral.....	15
Específicos	15
Material e Métodos	15
Espécies alvo do estudo	15
Processamento dos dados e camadas ambientais.....	17
Modelos de Distribuição de Espécie.....	21
Resultados.....	24
Discussão	32
Conclusões.....	36
Referências Bibliográficas.....	37
Apêndices	47

Lista de Figuras

Figura 1. Aves representantes do gênero *Pyriglena*: A e B) *Pyriglena leuconota* (Foto: João Quental e Celuta Machado); C e D) *Pyriglena pernambucensis* (Foto: Yuri Mendes e Mel Simas); E) *Pyriglena atra* (Foto: Juan Ruiz-Esparza); F e G) *Pyriglena leucoptera* (Foto: Fabio Rage e Leonardo Casadei)..... 16

Figura 2. Distribuição atual das espécies de aves do gênero *Pyriglena*, adaptado de Birdlife International (2016d). Registros dos pontos de ocorrência observados utilizados para gerar os modelos preditivos (símbolos) obtidos a partir do Gbif (2017) e registros na literatura. Figura elaborada no software ArcGIS (ArcMap) (versão 10.2.2). 17

Figura 3. Limites dos polígonos traçados para executar como domínio geográfico nos modelos de distribuição das aves *Pyriglena pernambucensis* e *Pyriglena atra*. Figura elaborada no software ArcGIS (ArcMap) (versão 10.2.2). 19

Figura 4. Comparação par a par da métrica TSS (*True Skill Statistic*) entre os conjuntos de preditores testados para cada espécie de ave. Diferenças significativas ($p < 0,001$) indicadas por letras diferentes nas caixas. Conjunto de variáveis preditores (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores..... 25

Figura 5. Comparação par a par da métrica AUC (*Area Under the Curve*) entre os conjuntos de variáveis ambientais testadas para cada espécie de ave. Diferenças significativas ($p < 0,001$) indicadas por letras diferentes nas caixas. Conjunto de variáveis preditores (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores. 26

Figura 6. Estimativa da contribuição das variáveis bioclimáticas nos modelos com maior desempenho das espécies de aves do gênero *Pyriglena*. Variáveis preditoras: BIO2 = Variação

da média diurna (média por mês (Temp. máx. - Temp. min.)); BIO7 = Variação da temperatura anual (BIO5-BIO6); BIO9 = Temperatura média do trimestre mais seco; BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente, BIO12 = Precipitação anual, BIO13 = Precipitação do mês mais chuvoso, BIO15 = Sazonalidade da Precipitação (coeficiente de Variação) BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco, BIO18 = Precipitação do trimestre mais quente; BIO19 = Precipitação do trimestre mais frio.....27

Figura 7. Adequabilidade de habitat da ave *Pyriglena leuconota*, baseado no conjunto de preditores Bio-veg (variáveis bioclimáticas e complexidade florestal) gerado pelo Maxent, assumindo para adequabilidade alta e muito alta valores de limiar de corte superiores a 0,56.28

Figura 8. Adequabilidade de habitat da ave *Pyriglena pernambucensis*, baseado no conjunto de preditores Bio-veg (variáveis bioclimáticas com a complexidade florestal) gerado pelo Maxent, associado a Unidades de Conservação na sua área de ocorrência. Assumindo para adequabilidade alta e muito alta valores de limiar de corte superiores a 0,46. Fonte dos dados das Unidades de Conservação: Brasil (2018a).29

Figura 9. Adequabilidade de habitat da ave *Pyriglena atra*, baseado no conjunto de preditores Bio-clim (variáveis bioclimáticas) gerado pelo Maxent, juntamente com Unidades de Conservação na sua área de ocorrência. Assumindo para adequabilidade alta e muito alta valores de limiar de corte superiores a 0,41. Fonte dos dados das Unidades de Conservação: Brasil (2018a).30

Figura 10. Adequabilidade de habitat da ave *Pyriglena leucoptera*, baseado no conjunto de preditores Bio-clim (variáveis bioclimáticas) gerado pelo Maxent, assumindo para adequabilidade média, alta e muito alta valores de limiar de corte superiores a 0,43.....31

Lista de Tabelas

Tabela 1: Conjunto de variáveis bioclimáticas utilizadas nos modelos após análise de correlação de Pearson para cada espécie de <i>Pyriglena</i> spp. Fonte dos dados: WorldClim (versão 2.0) (Fick & Hijmans, 2017).	20
Tabela 2: Valores de limiar de corte de adequabilidade baseados na média dos valores da soma da sensibilidade e especificidade maximizada dos 50 modelos gerados, usados nos modelos de <i>Pyriglena</i> spp. Conjunto de variáveis preditoras (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores.	23
Tabela 3: Intervalos adotados para gerar classes de adequabilidade dos modelos de melhor desempenho para as espécies de aves do gênero <i>Pyriglena</i>	23
Tabela 4: Valores médios de desempenho (TSS- <i>True Skill Statistic</i> / AUC- <i>Area Under the Curve</i>) dos modelos de distribuição de espécies gerados pelo Maxent, considerando cada conjunto de variáveis preditoras para as aves do gênero <i>Pyriglena</i> . Conjunto de variáveis preditores (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores.	24

Resumo

Modelos de distribuição potencial são uma ferramenta importante para estudar a biogeografia e a conservação das espécies, pois ajudam a compreender os padrões de distribuição espacial dos organismos. No entanto, para que os modelos representem melhor as condições ambientais ideais para as espécies, é necessário incluir variáveis ambientais que tragam sentido biológico para os modelos, tais como interações bióticas e estrutura do habitat, além das variáveis climáticas comumente usadas. Desta maneira, neste estudo, pretende-se investigar a influência de quatro conjuntos de preditores que incluem variáveis climáticas, interação biótica e estrutura do habitat sobre a distribuição geográfica das aves do gênero *Pyriglena*. Essas aves habitam ambientes florestais no estrato de sub-bosque e estão incluídas na guilda trófica de seguidoras de formigas-de-correição. Além das camadas bioclimáticas, foram usadas uma camada de complexidade florestal gerada a partir de dois atributos combinados (cobertura florestal e altura do dossel) e uma camada adequabilidade ambiental de formigas-de-correição para gerar os modelos das aves. Os modelos foram desenvolvidos utilizando o algoritmo Maxent e o seu desempenho medido através das métricas TSS (*True Skill Statistic*) e AUC (*Area Under the Curve*). Os modelos das aves do gênero *Pyriglena* indicam maior influência do macroclima. A complexidade florestal também foi um preditor importante, sendo que essas aves ocorrem em áreas que sofrem pressões por conta dos processos de perda e fragmentação do habitat, e seus requerimentos de habitat apontam para necessidades de áreas com floresta madura e uma matriz complexa. A camada de adequabilidade de formigas teve baixa contribuição nos modelos, inclusive piorando seu desempenho, exceto para *P. leuconota*, que pode ser considerada mais especializada na guilda trófica de aves seguidoras de formigas-de-correição. Este estudo contempla áreas potencialmente adequadas a ocorrência das aves do gênero *Pyriglena* em larga escala espacial. Essas informações podem subsidiar estratégias de conservação para *P. pernambucensis* e *P. atra* que se encontram ameaçadas de extinção.

Palavras chave: Adequabilidade de habitat; Conservação; Fragmentação; Formigas-de-correição; Maxent; Perda de habitat.

Abstract

Models of potential distribution are important tools for studying biogeography and species conservation, helping to understand patterns of spatial distribution of organisms. However, for models to better represent the environmental conditions for species, they require environmental variables with relevant biological meaning, such as biotic interactions and habitat structure, beyond the commonly used climatic variables. In this regard, in this study, we aim to investigate the influence of four sets of predictors, including climatic variables, biotic interaction and habitat structure on the geographical distribution of birds of the genus *Pyriglena*. These birds inhabit forest environments, in the sub-forest stratum, and are included in the trophic guild of army ants followers. In addition to the bioclimatic layers, forest complexity layer was generated from two attributes combined (forest cover and canopy height) and an suitability models layer of army ants were used to generate the bird models. Models were developed using the Maxent algorithm and its performance measured through the TSS and AUC metrics. Models of birds of the genus *Pyriglena* indicate a greater influence of the macroclimate. Forest complexity was also an important predictor, with these birds occurring in areas that are under pressure due to the processes of habitat loss and fragmentation, and with their habitat requirements pointing to areas with mature forest and complex matrix. The biotic interaction layer had a low contribution in the models, inclusively worsening their performance, except for *P. leuconota*, which can be considered more specialized in the trophic guild of ant following. This study contemplates potentially suitable areas for large-scale spatial distribution of birds of the genus *Pyriglena*. This information can support conservation strategies for *P. pernambucensis* and *P. atra*, which are threatened with extinction.

Key words: Habitat Suitability; Conservation; Fragmentation; Army ants; Maxent; Habitat loss.

Introdução

Um ponto fundamental para conservar espécies é determinar os locais onde as mesmas ocorrem, ou seja, determinar sua distribuição geográfica. A presença de um organismo em determinado local está sujeita às diversas condições que interagem dinamicamente em diferentes intensidades e escalas (Pearson & Dawson, 2003; Soberón & Peterson, 2005). Desta maneira, os grandes limites de distribuição das espécies são influenciados por um conjunto de condições ambientais que impõe limites fisiológicos aos organismos (fatores abióticos). Esses limites podem ser modificados pelas interações com outros organismos (fatores bióticos), pela capacidade de dispersão desses organismos ou, ainda, pela maneira como as populações respondem às mudanças nas condições ambientais (Soberón & Peterson, 2005; Soberón, 2007; Cox & Moore, 2009).

A combinação de tais fatores acaba proporcionando um espaço ambiental adequado que será ocupado pelas espécies à medida que existam recursos essenciais para garantir a sua sobrevivência e reprodução (Brown & Lomolino, 2006; Soberón & Nakamura, 2009; Soberón *et al.*, 2017). Este espaço ambiental é conhecido como nicho ecológico, que foi definido pela primeira vez por Grinnell (1917), com foco no conjunto de condições ambientais que não sofrem influência dos indivíduos de uma espécie e que são ideais para sua sobrevivência. Posteriormente, Elton (1927) apresentou o nicho de uma espécie baseado no seu papel funcional dentro da comunidade, observando o impacto causado e sofrido pela espécie no ambiente. Com as contribuições de George E. Hutchinson, o conceito de nicho passou a ter uma ideia mais robusta, em que o espaço ambiental apresenta múltiplas dimensões e o nicho seria a soma de todos os fatores que atuam sobre os organismos nesse espaço multidimensional. Portanto, o nicho ecológico descreve um “hipervolume” no qual os diferentes eixos representam, por exemplo, variáveis ambientais, restrições devido a interações com outras espécies e disponibilidade de recursos; sendo que tais dimensões de alguma maneira limitam a sobrevivência da espécie através da manutenção das populações (Hutchinson, 1957).

A distribuição geográfica de uma espécie pode ser compreendida, portanto, como a expressão das dimensões do seu nicho ecológico no espaço geográfico (Cowell & Rangel, 2009). Desta maneira, surgiram abordagens que buscam descrever a distribuição dos organismos, ou áreas adequadas a sua sobrevivência, a partir de conjuntos de condições que interferem na ocorrência e extensão espacial das espécies. Essas abordagens utilizam, através de modelagem estatística, informações sobre a ocorrência das espécies e condições ambientais

locais para prever as áreas adequadas para determinadas espécies (Guisan & Thuiller, 2005; De Marco Júnior & Siqueira, 2009). Na literatura, estes modelos podem ser nomeados de *Ecological niche models* - ENM (modelos de nicho ecológico), *Species distribution models* - SDM (modelos de distribuição de espécies) ou, ainda, *Habitat suitability models* - HSM (modelos de adequabilidade de habitat). A quantidade de publicações empregando tais ferramentas tem crescido, sendo amplamente empregados em diversas áreas, como por exemplo, biogeografia, biologia da conservação, macroecologia, paleoecologia, entre outras (Araújo & Guisan, 2006).

Em todas essas abordagens, além dos registros de ocorrência das espécies, é necessário um conjunto de variáveis ambientais para gerar uma distribuição preditiva ajustada à realidade (Austin & Van Niel, 2011). Neste sentido, o desempenho dos modelos pode ser afetado pela não inclusão de variáveis essenciais para determinadas espécies, o que torna a seleção destas informações um passo importante nesta metodologia (Araújo & Guisan, 2006). No geral, são usadas variáveis abióticas que descrevem características do clima como a temperatura e precipitação, e uma derivação de valores médios, máximo e mínimo, além de valores que descrevem a sazonalidade climática (Hijmans *et al.*, 2005), assim como altitude, declividade, aspecto e índice topográfico combinado e diversos dados representativos de cobertura do solo (Peterson *et al.*, 2011). Essas informações descrevem o gradiente de áreas adequadas afetadas apenas pelos fatores abióticos, sendo complexo incluir componentes de habitat (estrutura vegetal, densidade florestal, altura de dossel, entre outros), as interações com outros organismos ou mesmo possíveis barreiras geográficas para a dispersão das espécies (Heikkinen *et al.*, 2007; Bradie & Leung, 2017).

Os organismos estão sujeitos a modificações estruturais nos ambientes em que vivem. Dentre essas, as mudanças geradas pela perda e fragmentação de habitat podem ser consideradas como as principais causas ligadas a alterações nos padrões de distribuição e extinção de espécies (Fahrig, 2003; Alroy, 2017). Os principais efeitos desses processos incluem a redução da quantidade e qualidade de habitat, aumento no número de fragmentos florestais, diminuição do tamanho e aumento do isolamento desses remanescentes florestais (Fahrig, 2003). Para muitos organismos, a perda de habitat e o processo de fragmentação podem atingir níveis críticos, abaixo dos quais comprometem a viabilidade de suas populações, podendo resultar em extinções locais (Andrén, 1994). Apesar das informações sobre componentes do habitat se mostrarem importantes para a presença das espécies em

determinados locais, esse tipo de dado tem sido pouco explorado em estudos envolvendo modelos de distribuição de espécies (Bradie & Leung, 2017).

De fato, a inclusão da complexidade da vegetação como variável preditora nesses modelos pode fornecer uma descrição verossímil da área adequada para um determinado organismo, contribuindo para a elaboração de estratégias de conservação mais adequadas para o mesmo (Elith & Leathwich, 2009). A inclusão de dados de estrutura florestal de alta resolução, por exemplo, gerou previsões mais robustas do padrão de distribuição de líquens ameaçados e raros na Suíça (Dymytrova *et al.*, 2016). Nesse contexto, espécies de aves associadas a ambientes florestais devem ser particularmente afetadas pela destruição dos habitats, ou seja, determinadas espécies podem ser mais afetadas pelo tamanho do fragmento enquanto outras pela conectividade (Uezu *et al.*, 2005). Em seu estudo de caso, Basile e colaboradores (2016) mostraram que a fragmentação do habitat teve alta influência na distribuição e abundância de uma espécie de ave especialista em florestas (*Certhia brachydactyla* Brehm, 1820).

As interações bióticas também têm um importante papel na distribuição das espécies, determinando padrões de distribuição local e redefinindo limites impostos por outros fatores em macroescala (Soberón & Peterson, 2005; Peterson *et al.*, 2011). Mapas de adequabilidade de habitat de espécies têm sido utilizados, por exemplo, para representar competição entre espécies (Leathwick & Austin, 2001; Anderson *et al.*, 2002), para verificar a influência de uma espécie fornecendo recurso (ninhos) para outra (Heikkinen *et al.*, 2007) ou para avaliar a interação entre plantas e seus polinizadores (Silva, 2014). Embora as interações bióticas possam ser usadas em escalas mais amplas (Araújo & Luoto, 2007), essas informações ainda são pouco incluídas como variáveis ambientais nos modelos preditivos (Bradie & Leung, 2017) pelo fato de que os efeitos dessas interações na distribuição dos organismos são melhor identificados em escalas espaciais mais finas (Heikkinen *et al.*, 2007). Porém, as interações bióticas entre os organismos podem ser incluídas como variável ambiental nos modelos de distribuição de espécies (Araújo & Luoto, 2007; Wisz *et al.*, 2013).

Nas florestas neotropicais, a interação entre aves florestais e formigas-de-correição indica um comportamento interessante para testar esta premissa. Tais aves integram a guilda trófica de seguidoras de formigas-de-correição, na qual seguem os enxames e se alimentam das presas que fogem das formigas (Willis & Oniki, 1978; Willis, 1981). Essa relação é considerada um tipo de comensalismo, benéfico para as aves e sem efeito para as formigas (Sazima & D'Angelo, 2015). Porém, Wrege e colaboradores (2005) a descrevem como parasitismo por

conta do aumento do custo de forrageio para as formigas que as aves causam ao invadir os enxames. O comportamento destas aves de seguir formigas-de-correição pode ser oportunista, ou seja, seguidoras ocasionais. Algumas espécies de aves se especializaram, podendo ser seguidoras obrigatórias que só forrageiam em enxames de formigas, ou seguidoras regulares que são vistas forrageando fora dos enxames (Wrege *et al.*, 2005, Piso & Melo, 2010). Estas são diferenciadas de aves oportunistas por obter boa parte de sua dieta seguindo os enxames (Willis & Oniki, 1978; Willis, 1981; Wrege *et al.*, 2005; Batcheller, 2017), ou pelo comportamento de rastrear/checar vários ninhos de formigas e defender territórios (Swartz, 2001; Willson, 2004).

Um grupo particular de formigas edáficas, conhecidas popularmente como formigas-de-correição ou taocas, são consideradas caçadoras de topo de cadeia e formam enxames de grandes proporções, tanto para a caça quanto para a movimentação dos seus ninhos (Franks & Fletcher, 1983; Willis & Oniki, 2008). As principais espécies de formigas-de-correição são *Eciton burchellii* (Westwood, 1842) que forma ninhos ou “bivouac” temporários, estruturados pelos corpos das operárias, acima do solo, possuindo uma fase nômade e outra fase na qual há o estabelecimento para eclosão dos ovos e cuidado dos juvenis (Swartz, 2001; Rettenmeyer *et al.*, 2011). Em *Labidus praedator* (Smith, F., 1858), cujos os ninhos são subterrâneos e na superfície seus enxames são cobertos por terra, o que favorece suas incursões em dias frios ou quentes, evitando o clima seco e desse modo, enviam suas colunas de caçadas à noite ou depois de chuvas (Willis & Oniki, 2008). Por conta dessas características, as formigas-de-correição são espécies chave, formando uma rede de relações com os organismos dos ecossistemas que habitam, e tendo uma diversidade de fauna associada as suas atividades (Wrege *et al.*, 2005; Rettenmeyer *et al.*, 2011).

Neste sentido, através da compreensão da importância da complexidade estrutural do hábitat na distribuição da ocorrência de aves florestais de sub-bosque, bem como da interação biótica que envolve aves que dependem de formigas-de-correição de forma obrigatória ou parcialmente obrigatória, o presente estudo pretende investigar se a distribuição das espécies de aves do gênero *Pyriglena* pode ser melhor compreendida levando em consideração a estrutura do habitat e a interação dessas aves com as formigas-de-correição.

Objetivos

Geral

Empregando a abordagem de Modelagem de Distribuição de Espécies, pretende-se testar a influência de conjuntos de preditores ambientais abióticos e bióticos sobre a distribuição geográfica de aves do gênero *Pyriglena* e, desta maneira, subsidiar estratégias de conservação para as espécies.

Específicos

1. Avaliar a influência de variáveis bioclimáticas sobre a distribuição potencial das espécies de aves do gênero *Pyriglena*.
2. Testar se a complexidade florestal, aqui definida como cobertura florestal combinada com altura de dossel, tem influência na distribuição das aves.
3. Verificar a influência da interação biótica, representada pelo comportamento de seguir formigas de correição, sobre a distribuição das aves.
4. Indicar, a partir dos resultados obtidos, áreas potenciais à ocorrência das espécies do gênero *Pyriglena* e subsidiar iniciativas de conservação para as espécies ameaçadas do grupo.

Material e Métodos

Espécies alvo do estudo

As aves objeto deste estudo pertencem à família *Thamnophilidae* Swainson, 1824, estão incluídas no gênero *Pyriglena* Cabanis, 1847, atualmente representado por quatro espécies: *Pyriglena leuconota* (Spix, 1824); *Pyriglena pernambucensis* Zimmer, 1931; *Pyriglena atra* (Swainson, 1825) e *Pyriglena leucoptera* (Vieillot, 1818) (Piacentini *et al.*, 2015) (Figura 1). Estas aves estão distribuídas na América do Sul (Figura 2), sendo que *P. leuconota* e *P. leucoptera* são consideradas comuns (Stotz *et al.*, 1996) e seu status de conservação é Pouco Preocupante de acordo com Birdlife International (2016a, b). Incluídas em status de Ameaça, a *P. pernambucensis* na categoria Vulnerável (Brasil, 2014) e a *P. atra*, na categoria Em Perigo (Birdlife International, 2016c), são espécies endêmicas do Brasil (Piacentini *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2016). Por conta da coloração vermelha dos olhos, estas espécies são conhecidas

popularmente como olho-de-fogo. Apresentam dimorfismo sexual, sendo os machos negros com uma macha branca na plumagem (característica para cada espécie) e as fêmeas pardas ou marrons, podendo apresentar ou não a mancha branca (Willis, 1981; Sick, 1997; Isler & Maldonado-Coelho, 2017). Ocorrem nos biomas Mata Atlântica e Amazônia associadas ao sub-bosque florestal, sendo favorecidas pela vegetação secundaria densa (Stotz *et al.*, 1996; Sick, 1997). Estas aves são consideradas seguidoras regulares de formigas-de-correição, podendo se alimentar fora dos enxames quando estes não estão disponíveis (Willis, 1981).



Figura 1. Aves representantes do gênero *Pyriglena*: A e B) *Pyriglena leuconota* (Foto: João Quental e Celuta Machado); C e D) *Pyriglena pernambucensis* (Foto: Yuri Mendes e Mel Simas); E) *Pyriglena atra* (Foto: Juan Ruiz-Esparza); F e G) *Pyriglena leucoptera* (Foto: Fabio Rage e Leonardo Casadei).

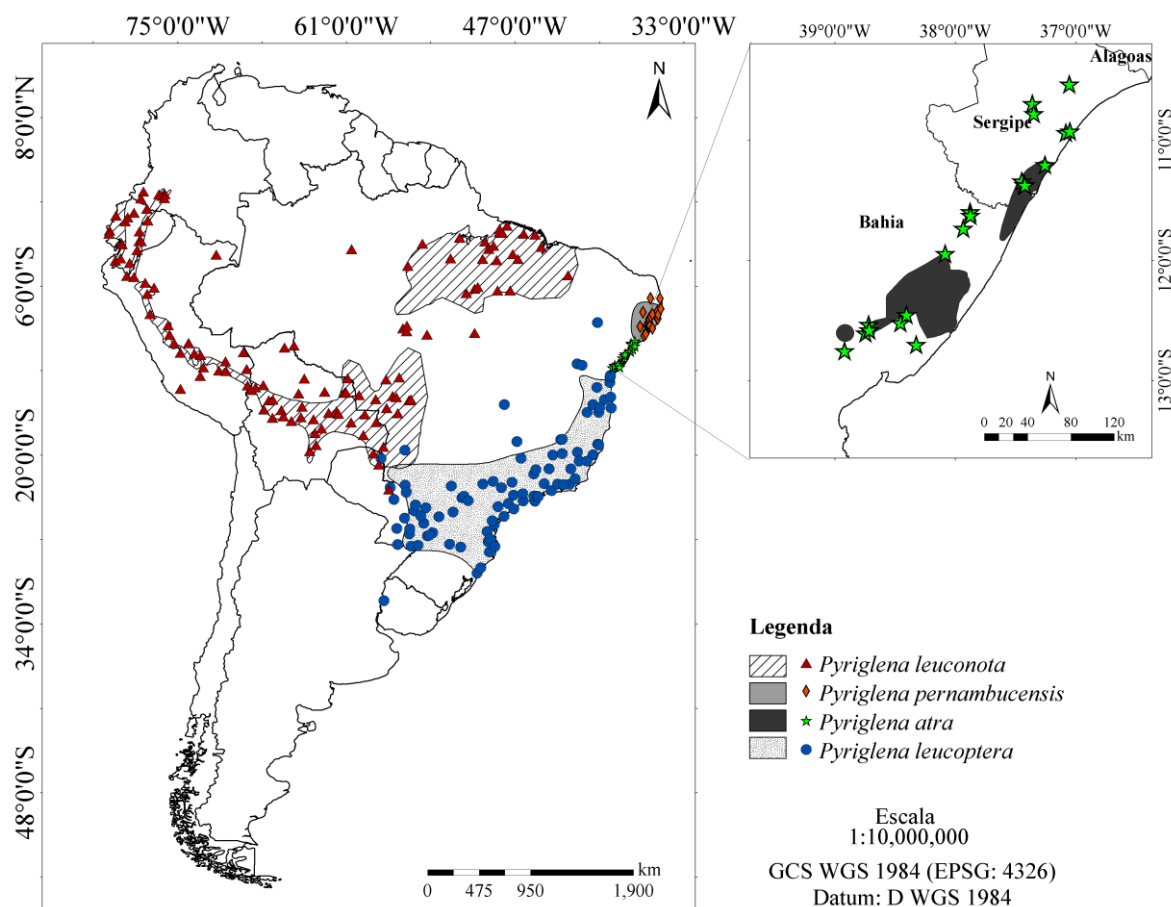


Figura 2. Distribuição atual das espécies de aves do gênero *Pyriglena*, adaptado de Birdlife International (2016d). Registros dos pontos de ocorrência observados utilizados para gerar os modelos preditivos (símbolos) obtidos a partir do Gbif (2017) e registros na literatura. Figura elaborada no software ArcGIS (ArcMap) (versão 10.2.2).

Processamento dos dados e camadas ambientais

Os registros de ocorrência das espécies alvo do estudo foram obtidos a partir das bases de dados de museus e fonotecas disponíveis on-line (Gbif, 2017). Para *P. atra*, estas informações foram complementadas a partir de registros na literatura (Lima & Lima Neto, 2007; Sousa, 2009; Ruiz-Esparza *et al.*, 2015). Esses dados foram filtrados para excluir registros incompletos, duplicados ou com informações duvidosas sobre a identificação das espécies. Uma amostragem geográfica nos pontos de ocorrência de *P. leuconota* e *P. leucoptera* foi executada para remover locais próximos ou sobrepostos, considerando uma resolução espacial de um grau decimal ($\sim 110 \times 110$ km), mantendo apenas um ponto por célula (Hijmans, 2016a). Este procedimento não pôde ser adotado para *P. pernambucensis* e *P. atra* por estas

apresentarem área de distribuição restrita e reduzido número de sítios de ocorrência. Ao final, restaram 123 pontos de ocorrência para *P. leuconota*; 35 para *P. pernambucensis*; 31 para *P. atra* e 91 para *P. leucoptera* (Figura 2).

Foi definido um domínio geográfico para representar os limites de dispersão de *P. pernambucensis* e *P. atra*, representando o espaço acessível para as espécies sem barreiras à sua movimento e colonização (Soberón, 2005; Soberón & Nakamura, 2009). Para essas aves as principais barreiras podem ser rios de grande extensão e limites de vegetação florestal característica de Mata Atlântica (Maldonado-Coelho *et al.*, 2013). Assim, foram criados polígonos utilizando os seguintes limites: *P. pernambucensis* - Rio São Francisco ao sul, Bioma Caatinga a oeste e oceano Atlântico a leste e norte; *P. atra* - Rio São Francisco ao norte e o Rio Paraguau ao sul, Bioma Caatinga a oeste e oceano Atlântico a leste (Figura 3). Esses polígonos foram usados como molde para fazer os recortes em todas as camadas ambientais originais e os modelos para estas espécies foram gerados e projetados usando as camadas dentro desses limites. Para as demais espécies, os modelos foram gerados para toda América do Sul, pois tal limitação é incerta por conta da ampla distribuição geográfica das mesmas.

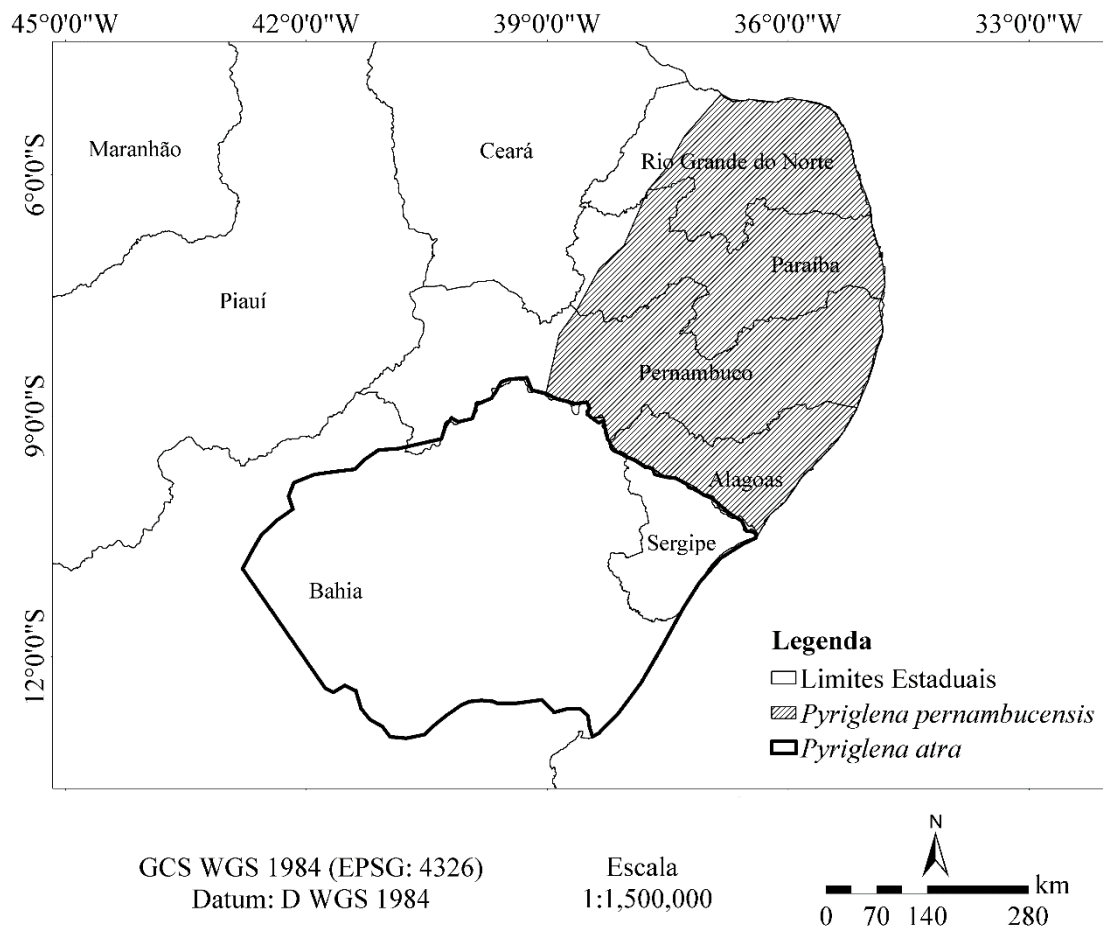


Figura 3. Limites dos polígonos traçados para executar como domínio geográfico nos modelos de distribuição das aves *Pyriglena pernambucensis* e *Pyriglena atra*. Figura elaborada no software ArcGIS (ArcMap) (versão 10.2.2).

Um conjunto de 19 variáveis bioclimáticas foi obtido através da base de dados do WorldClim (versão 2.0), com resolução espacial de 2,5 minutos ($\sim 20 \text{ km}^2$) (Fick & Hijmans, 2017). Estes dados representam informações bioclimáticas de todo o globo terrestre, tornando necessário restringi-lo aos domínios geográficos do estudo. Uma análise de correlação de Pearson foi aplicada, considerando o conjunto dos dados dentro do domínio geográfico de cada uma das espécies, selecionando as variáveis menos correlacionadas (positiva ou negativamente), considerando valores de r entre 0,7 e - 0,7. As camadas de clima selecionadas para cada recorte estão representadas na Tabela 1.

Tabela 1: Conjunto de variáveis bioclimáticas utilizadas nos modelos após análise de correlação de Pearson para cada espécie de *Pyrglena* spp. Fonte dos dados: WorldClim (versão 2.0) (Fick & Hijmans, 2017).

<i>P. leuconota</i>	
Variável	Descrição
Bio2	Variação da média diurna (média por mês (temp. máx. - temp. min.))
Bio15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)
Bio17	Precipitação do trimestre mais seco
Bio18	Precipitação do trimestre mais quente
Bio19	Precipitação do trimestre mais frio
<i>P. pernambucensis</i>	
Variável	Descrição
Bio7	Variação da temperatura anual (BIO5-BIO6)
Bio8	Temperatura média do trimestre mais chuvoso
Bio9	Temperatura média do trimestre mais seco
Bio12	Precipitação anual
Bio15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)
<i>P. atra</i>	
Variável	Descrição
Bio2	Variação da média diurna (média por mês (temp. máx. - temp. min.))
Bio7	Variação da temperatura anual (BIO5-BIO6)
Bio10	Temperatura média do trimestre mais quente
Bio13	Precipitação do mês mais chuvoso
Bio18	Precipitação do trimestre mais quente
<i>P. leucoptera</i>	
Variável	Descrição
Bio2	Variação da média diurna (média por mês (temp. máx. - temp. min.))
Bio15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)
Bio17	Precipitação do trimestre mais seco
Bio18	Precipitação do trimestre mais quente
Bio19	Precipitação do trimestre mais frio

Com a finalidade de gerar uma camada de complexidade florestal para o domínio geográfico de cada espécie, dois atributos foram combinados. O primeiro consiste em dados de cobertura florestal dos anos 2000 a 2016 em uma resolução espacial de 30m, obtidos através da plataforma *Global Forest Change* (versão 1.4) que reúne informações da extensão de cobertura, perda e ganho florestal global através de imagens de satélites Landsat (Hansen *et al.*, 2013). O segundo atributo foi a altura do dossel, obtida do mapeamento global da base de dados *Spatial Data Access Tool* (SDAT) a uma resolução espacial de 1km (Simard *et al.*, 2011). Após o ajuste

da resolução espacial dos dados de cobertura florestal e altura do dossel para aproximadamente 20 km², foi obtida uma medida de complexidade florestal através do produto desses dois atributos (Apêndice 1a).

Foi criada uma camada de adequabilidade das espécies de formigas-de-correição a partir da soma da adequabilidade ambiental de *E. burchellii* e *L. praedator* (Apêndice 1b). Os registros de ocorrência das formigas utilizados para gerar esta camada foram obtidos no Gbif (2018). Esses pontos passaram pelo mesmo tratamento citado anteriormente para as aves, restando 32 pontos de ocorrência para cada espécie de formiga-de-correição. Os modelos de adequabilidade foram gerados usando as variáveis bioclimáticas para o domínio geográfico da América do Sul e tiveram desempenho aceitável, valores de acurácia superiores a 0,70. O procedimento de modelagem é melhor detalhado no item a seguir.

Modelos de Distribuição de Espécie

Os modelos foram desenvolvidos a partir do conceito de máxima entropia, no qual se procura estabelecer a probabilidade de ocorrência de uma espécie encontrando a probabilidade de distribuição mais próxima ao uniforme (máxima entropia), sujeito a um conjunto de restrições em que o valor esperado de cada variável ambiental corresponda a sua média empírica (Phillips *et al.*, 2006). Para isso, foi utilizado o software Maxent (versão 3.4.1) (Phillips *et al.*, 2004), que é considerado um dos métodos de melhor desempenho na modelagem de distribuição preditiva (Elith *et al.*, 2006; 2011). Além de gerar as predições apenas com dados de presença, este método também tem um desempenho robusto com baixo número de ocorrências, o que é relevante por conta da falta de dados de ausência confiáveis das espécies estudadas e poucos registros de ocorrência (Elith *et al.*, 2006; Phillips *et al.*, 2006; Wisz *et al.*, 2008).

Para executar os modelos foram considerados quatro conjuntos de variáveis preditoras: Bio-clim = variáveis bioclimáticas (usando as cinco variáveis bioclimáticas não correlacionadas para cada domínio geográfico); Bio-int = variáveis bioclimáticas combinadas com a camada de adequabilidade das formigas; Bio-veg = variáveis bioclimáticas com a complexidade florestal; Bio-com = modelos usando todas as variáveis ambientais usadas nos conjuntos anteriores (Heikkinen *et al.*, 2007). Usando os conjuntos de dados originais foi feita a calibração dos modelos através do método de validação cruzada. Este método mede a qualidade dos modelos

a partir de replicações com os dados originais. Aqui foram usados 75% dos dados como treino e 25% como teste, de forma aleatória, gerando 50 réplicas para cada conjunto de variáveis resposta e para cada espécie (200 réplicas para cada espécie). Para gerar suas predições, o Maxent não necessita de pontos de ausência das espécies, porém é necessário estabelecer um domínio ambiental da região de estudo através de pontos de *background* (amostragem de fundo) (Elith *et al.*, 2011). Neste estudo, foi considerado um conjunto de *background* de 100 pontos aleatórios em todos os domínios geográficos (Barbet-Massin *et al.*, 2012) e a parametrização na configuração padrão do Maxent.

O desempenho dos modelos (acurácia) foi avaliado utilizando duas métricas: TSS - *True Skill Statistic*, que usa a sensibilidade (proporção de presenças verdadeiras do total de presenças preditas, e quantifica erros de omissão) e a especificidade (proporção de ausências verdadeiras em relação às ausências preditas, e quantifica erros de comissão), pois estas variáveis são independentes umas das outras e também são independentes da prevalência (porcentagem total da área de estudo onde a espécie realmente ocorre). O TSS varia de -1 a +1, sendo que os valores de -1 a 0 indicam uma performance inferior a aleatória e os valores de 0,1 a +1 indicam bom desempenho (Allouche *et al.*, 2006). Foi utilizada também a métrica comum na modelagem de distribuição de espécies, o AUC - *Area Under the Curve ROC (Receiver Operating Characteristic)* (Fielding & Bell, 1997). Essa métrica compara a taxa de presenças verdadeiras (sensibilidade) e presenças falsas (1 - especificidade), gerando uma área em que quanto maior a diferença entre o resultado do modelo e a previsão aleatória, melhor é o desempenho do modelo, ou seja, os valores são mais próximos a 1 (Phillips *et al.*, 2006).

Foi estabelecido um limiar de corte de adequabilidade para os modelos com melhor desempenho de cada espécie utilizando as médias de valores da soma da sensibilidade e especificidade maximizada a partir dos dados de treino de todas as 50 réplicas geradas (Liu *et al.*, 2005). Dessa maneira, os valores de limiar de corte variam de 0 a 1 (Tabela 2). Os mapas de adequabilidade foram classificados arbitrariamente em cinco categorias, nas quais valores das células acima do limiar de corte foram considerados como adequabilidade alta ou muito alta e valores abaixo foram considerados como média, baixa ou muito baixa adequabilidade (Tabela 3). A partir dessa classificação, foi estimada a área adequada (em km²) de cada espécie. Pelo fato de *P. pernambucensis* e *P. atra* se encontrarem em categoria de ameaça, foi verificada a área (km²) de todas as Unidades de Conservação (UCs) localizadas dentro das áreas

adequadas. Os dados das UCs foram obtidos na plataforma i3Geo do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2018a) e foram consideradas todas as categorias legais de UCs para o Brasil.

Tabela 2: Valores de limiar de corte de adequabilidade baseados na média dos valores da soma da sensibilidade e especificidade maximizada dos 50 modelos gerados, usados nos modelos de *Pyrglena* spp. Conjunto de variáveis preditoras (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores.

CVP/Espécie	<i>P. leuconota</i>	<i>P. pernambucensis</i>	<i>P. atra</i>	<i>P. leucoptera</i>
Bio-clim	0,59	0,55	0,41	0,43
Bio-int	0,58	0,60	0,37	0,57
Bio-veg	0,56	0,46	0,55	0,51
Bio-com	0,58	0,51	0,32	0,51

Tabela 3: Intervalos adotados para gerar classes de adequabilidade dos modelos de melhor desempenho para as espécies de aves do gênero *Pyrglena*.

Adequabilidade/Espécie	<i>P. leuconota</i>	<i>P. pernambucensis</i>	<i>P. atra</i>	<i>P. leucoptera</i>
Muito alta	0,76 - 0,99	0,68 - 0,91	0,69 - 0,99	0,67 - 0,95
Alta	0,56 - 0,76	0,46 - 0,68	0,41 - 0,69	0,43 - 0,67
Média	0,37 - 0,56	0,30 - 0,46	0,27 - 0,41	0,28 - 0,43
Baixa	0,18 - 0,37	0,15 - 0,30	0,13 - 0,27	0,14 - 0,28
Muito baixa	0,00 - 0,18	0,00 - 0,15	0,00 - 0,13	0,00 - 0,14

A importância de cada variável preditora dentro dos modelos foi avaliada em cada rodada da validação cruzada através da substituição aleatória da variável testada, onde é feita uma correlação entre o modelo com e sem a variável (1-correlação). Uma correlação baixa indica que o modelo preditivo é mais afetado pela permutação da variável, tendo essa uma alta contribuição no modelo (Thuiller *et al.*, 2009; Naimi & Araújo, 2016). Para uma melhor interpretação, esses resultados de saída foram convertidos em correlação de Pearson com valores variando de 0 a 1, em que valores mais próximos de 1 significam maior contribuição da variável. Os valores das métricas de desempenho (TSS e AUC) dos 50 modelos gerados para cada espécie em cada conjunto de dados foi testado a fim de verificar diferenças entre esses resultados e definir qual o conjunto de dados melhor representa a distribuição potencial das

espécies. Por apresentarem distribuição não paramétrica, foi utilizada uma comparação par a par através do teste de Wilcoxon em todos os conjuntos de dados para cada espécie estudada.

O processamento dos dados e execução dos modelos e análise estatística foi realizado no ambiente R (versão 3.3.3) (R Development Core Team, 2017), através dos pacotes Dismo (Hijmans *et al.*, 2016), Raster (Hijmans, 2016b), sdm (Naimi & Araújo, 2016) e Stats. Os polígonos de domínio geográfico foram gerados no programa Global Mapper (versão 11.00). A reclassificação de adequabilidade e a elaboração dos mapas foi realizada no software ArcGIS (ArcMap) (versão 10.2.2).

Resultados

Os modelos gerados pelo Maxent, para todos os conjuntos de dados e espécies de aves apresentaram variação nas métricas de TSS de 0,55 a 0,98 e de AUC entre 0,70 e 0,98 (Tabela 4). De maneira geral, os modelos de *P. pernambucensis*, *P. atra* e *P. leucoptera* foram considerados muito bons, sendo que para *P. pernambucensis* e *P. leucoptera* os valores das métricas avaliadas foram os mais baixos para os modelos envolvendo a interação biótica. *P. leuconota* obteve modelos com os piores valores de acurácia.

Tabela 4: Valores médios de desempenho (TSS - *True Skill Statistic*/ AUC- *Area Under the Curve*) dos modelos de distribuição de espécies gerados pelo Maxent, considerando cada conjunto de variáveis preditoras para as aves do gênero *Pyrgilena*. Conjunto de variáveis preditores (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores.

CVP/Métricas	<i>P. leuconota</i>		<i>P. pernambucensis</i>		<i>P. atra</i>		<i>P. leucoptera</i>	
	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC	TSS	AUC
Bio-clim	0,56	0,70	0,90	0,91	0,98	0,98	0,86	0,92
Bio-int	0,57	0,72	0,84	0,86	0,97	0,97	0,55	0,71
Bio-veg	0,62	0,77	0,92	0,93	0,92	0,92	0,81	0,89
Bio-com	0,59	0,74	0,90	0,92	0,96	0,96	0,83	0,91

Os conjuntos de dados considerados como os que geraram modelos com melhor desempenho foram o conjunto Bio-veg para *P. leuconota* e *P. pernambucensis* e o conjunto Bio-clim para *P. atra* e *P. leucoptera*. Houve diferença significativa ($p < 0,001$) (Figuras 4 e 5) na comparação par a par entre os diferentes conjuntos de preditores, por espécies utilizando o teste de Wilcoxon (Apêndice 3). Desta maneira, os modelos gerados com esses conjuntos de dados foram projetados e considerados como áreas adequadas para cada espécie.

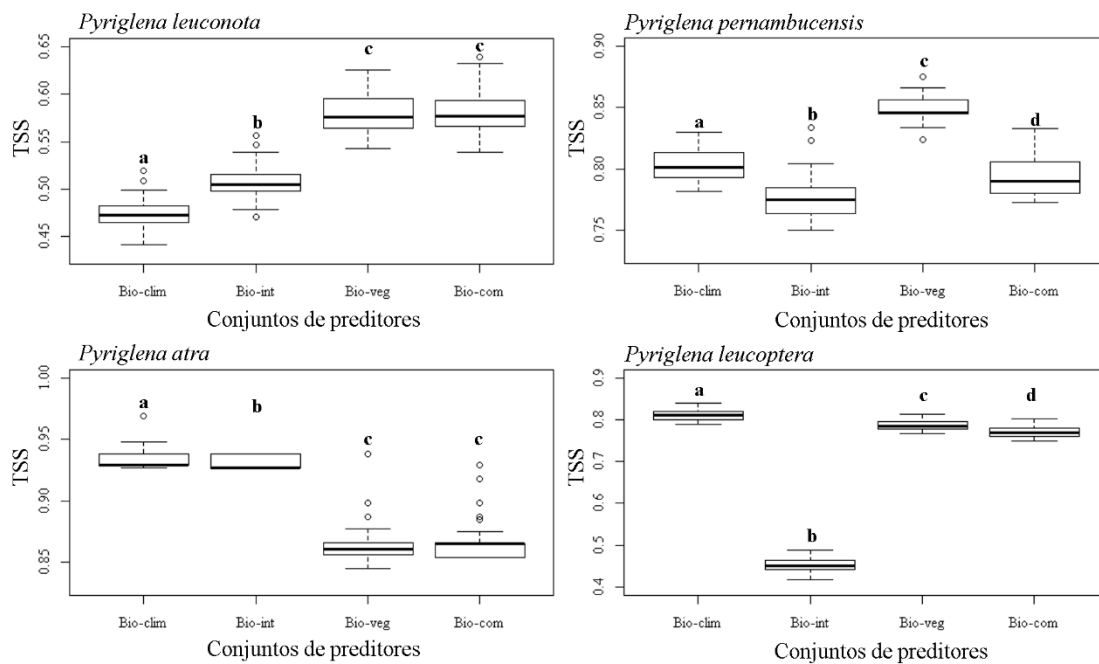


Figura 4. Comparação par a par da métrica TSS (*True Skill Statistic*) entre os conjuntos de preditores testadas para cada espécie de ave. Diferenças significativas ($p < 0,001$) indicadas por letras diferentes nas caixas. Conjunto de variáveis preditores (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores.

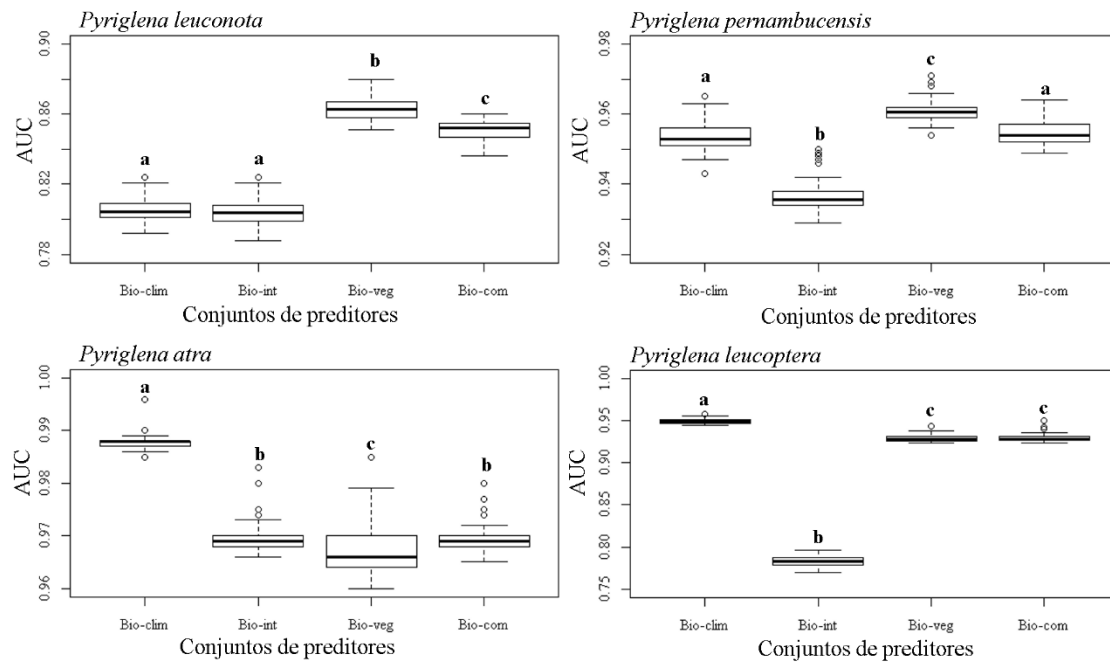


Figura 5. Comparação par a par da métrica AUC (Area Under the Curve) entre os conjuntos de variáveis ambientais testadas para cada espécie de ave. Diferenças significativas ($p < 0,001$) indicadas por letras diferentes nas caixas. Conjunto de variáveis preditores (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores.

Em relação a importância das variáveis preditoras, no geral, as variáveis bioclimáticas apresentaram uma maior contribuição dos modelos para todas as espécies de aves (Apêndice 2). Especificamente, dentro dos conjuntos de dados assumido como melhor modelo, a soma da contribuição das três primeiras variáveis bioclimáticas (Figura 6), equivale a valores importância de 0,64 (*P. leuconota*); 0,56 (*P. pernambucensis*); 0,73 (*P. atra*) e 0,70 (*P. leucoptera*). As camadas de complexidade florestal e adequabilidade das formigas tiveram baixa contribuição nos conjuntos de dados nos quais foram incluídas, tendo destaques para o modelo do conjunto Bio-int de *P. leuconota*, no qual a camada de adequabilidade das formigas teve importância de aproximadamente 0,18 e complexidade florestal no conjunto Bio-veg de *P. leucoptera*, com importância em torno de 0,20.

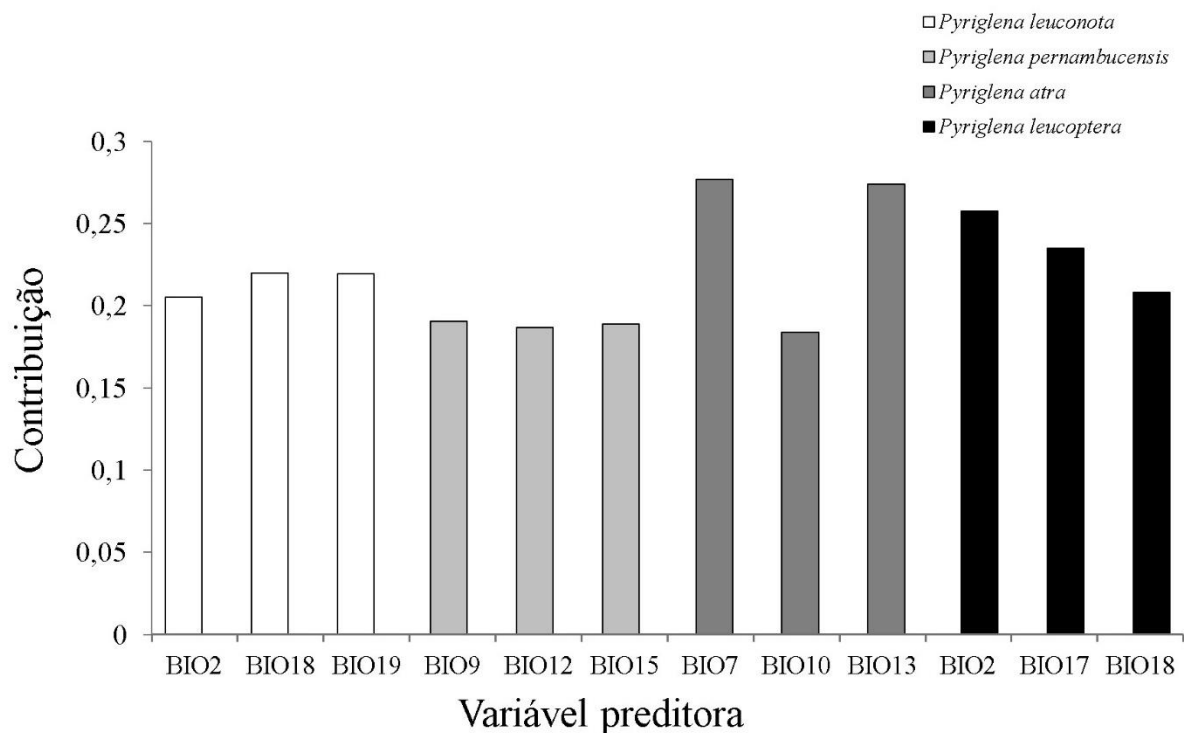


Figura 6. Estimativa da contribuição das variáveis bioclimáticas nos modelos com maior desempenho das espécies de aves do gênero *Pyriglena*. Variáveis preditoras: BIO2 = Variação da média diurna (média por mês (Temp. máx. - Temp. min.)); BIO7 = Variação da temperatura anual (BIO5-BIO6); BIO9 = Temperatura média do trimestre mais seco; BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente, BIO12 = Precipitação anual, BIO13 = Precipitação do mês mais chuvoso, BIO15 = Sazonalidade da Precipitação (coeficiente de Variação) BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco, BIO18 = Precipitação do trimestre mais quente; BIO19 = Precipitação do trimestre mais frio.

A extensão de área com maior probabilidade de ocorrência para *P. leuconota* foi de 7.137.008 km². Seu mapa preditivo (Figura 7) abrange parcialmente os limites da distribuição observada para a ave, e se estende em parte da Venezuela e as Guianas assim como no sudeste e nordeste do Brasil e no Chile.

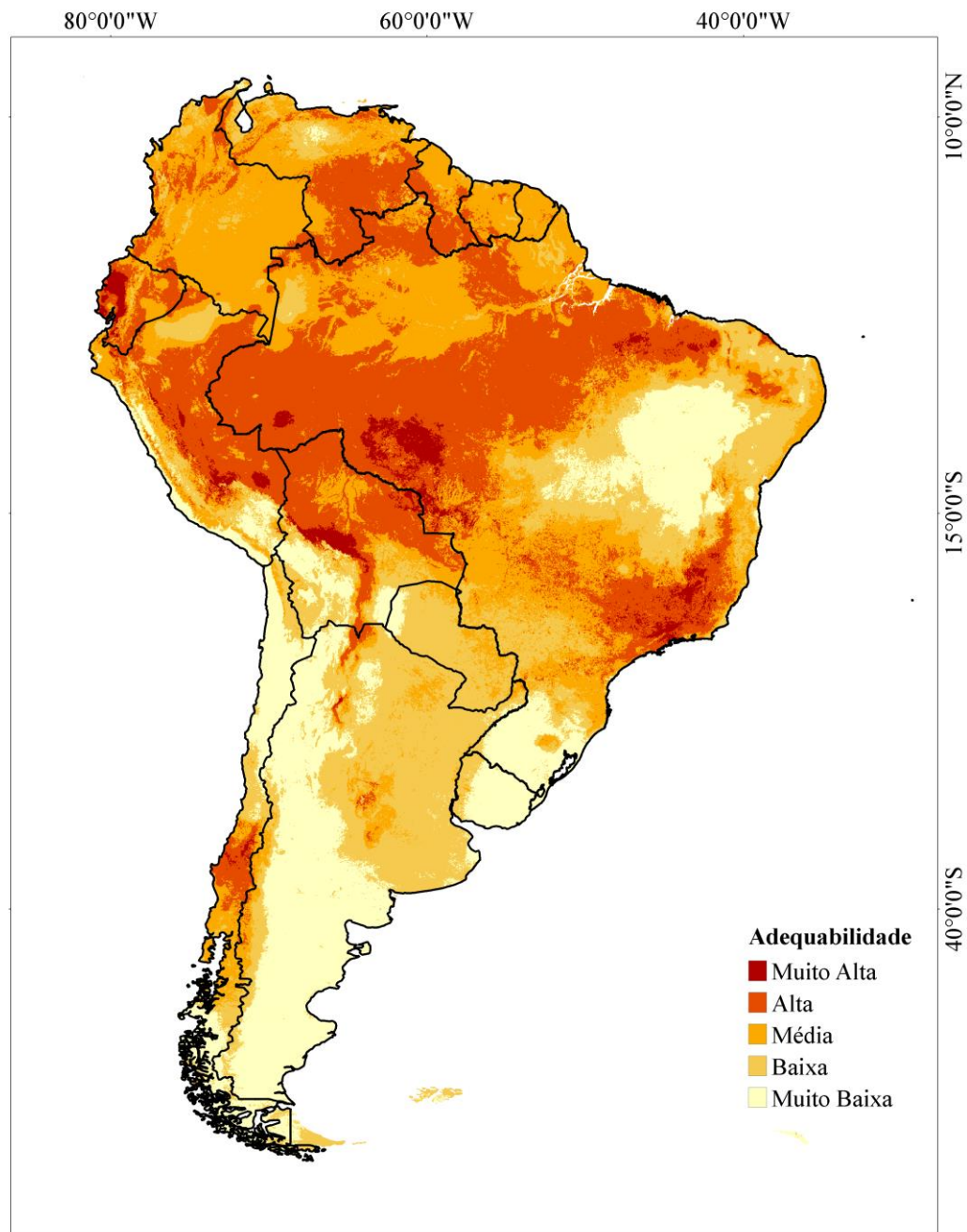


Figura 7. Adequabilidade de habitat da ave *Pyriglena leuconota*, baseado no conjunto de preditores Bio-veg (variáveis bioclimáticas e complexidade florestal) gerado pelo Maxent, assumindo para adequabilidade alta e muito alta valores de limiar de corte superiores a 0,56.

No caso de *P. pernambucensis*, a área adequada é bem consistente com a distribuição conhecida da espécie, com forte associação com o domínio Mata Atlântica (Figura 8). A amplitude de sua área provável de ocorrência é de 32.178 km², da qual aproximadamente 4.402 km² (13,7%) equivale a Unidades de Conservação (Apêndice 4).

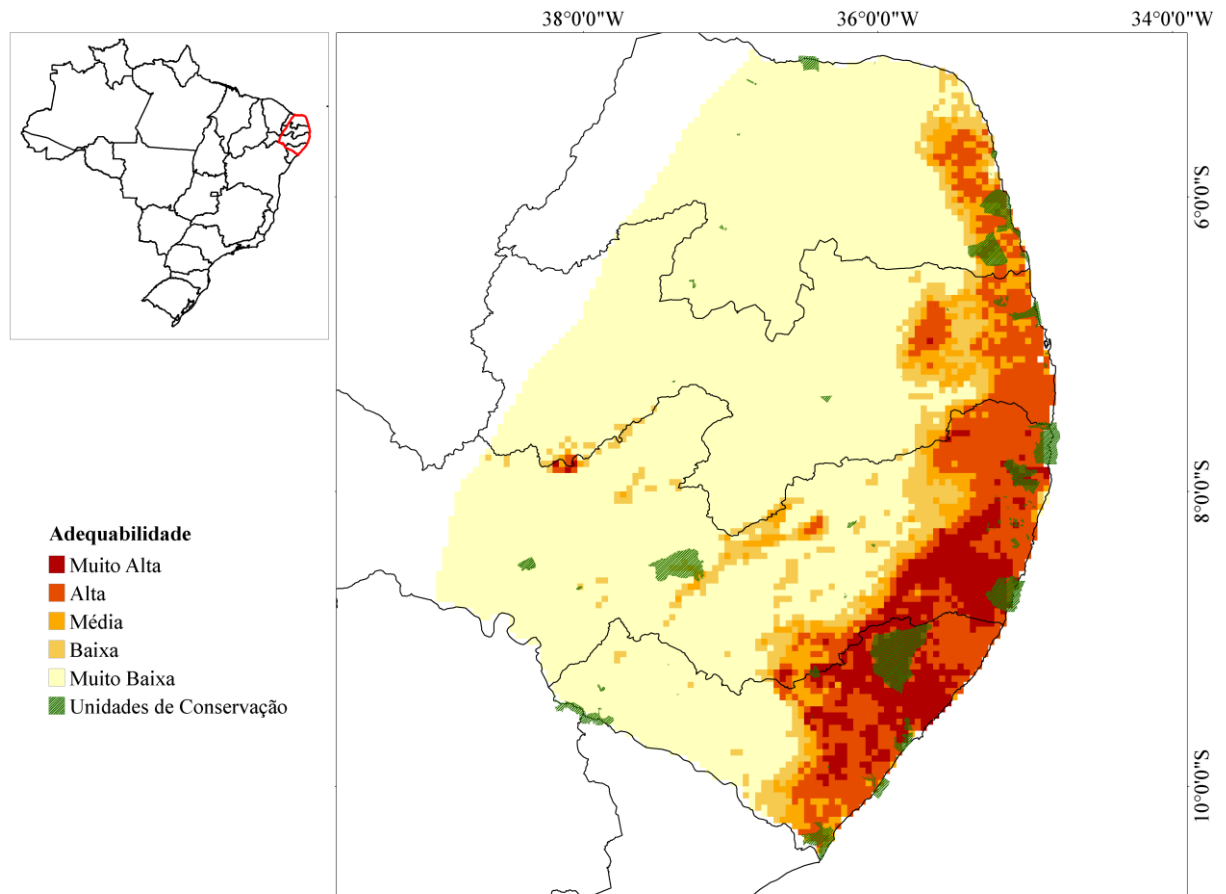


Figura 8. Adequabilidade de habitat da ave *Pyriglena pernambucensis*, baseado no conjunto de preditores Bio-veg (variáveis bioclimáticas com a complexidade florestal) gerado pelo Maxent, associado a Unidades de Conservação na sua área de ocorrência. Assumindo para adequabilidade alta e muito alta valores de limiar de corte superiores a 0,46. Fonte dos dados das Unidades de Conservação: Brasil (2018a).

Semelhante ao anterior, o modelo de *P. atra* mostra associação com a Mata Atlântica (Figura 9), tendo uma área potencial de ocorrência de 22.273 km², da qual 160 km² (0,72%) está em Unidades de Conservação (Apêndice 4). Por fim, a adequabilidade potencial de *P. leucoptera* (Figura 10) teve amplitude de área adequada de 7.170.996 km² incluindo áreas além do Bioma Mata Atlântica.

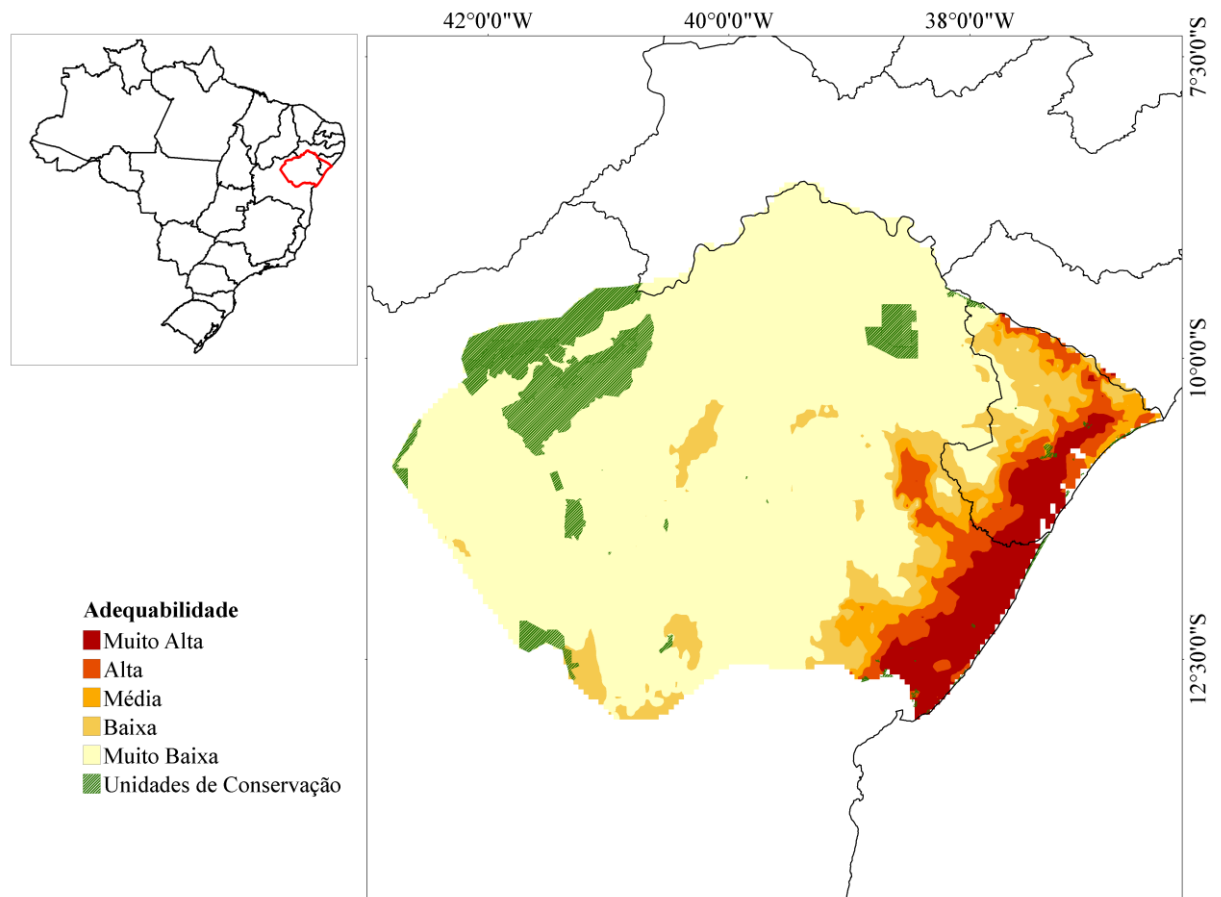


Figura 9. Adequabilidade de habitat da ave *Pyriglena atra*, baseado no conjunto de preditores Bio-clim (variáveis bioclimáticas) gerado pelo Maxent, juntamente com Unidades de Conservação na sua área de ocorrência. Assumindo para adequabilidade alta e muito alta valores de limiar de corte superiores a 0,41. Fonte dos dados das Unidades de Conservação: Brasil (2018a).

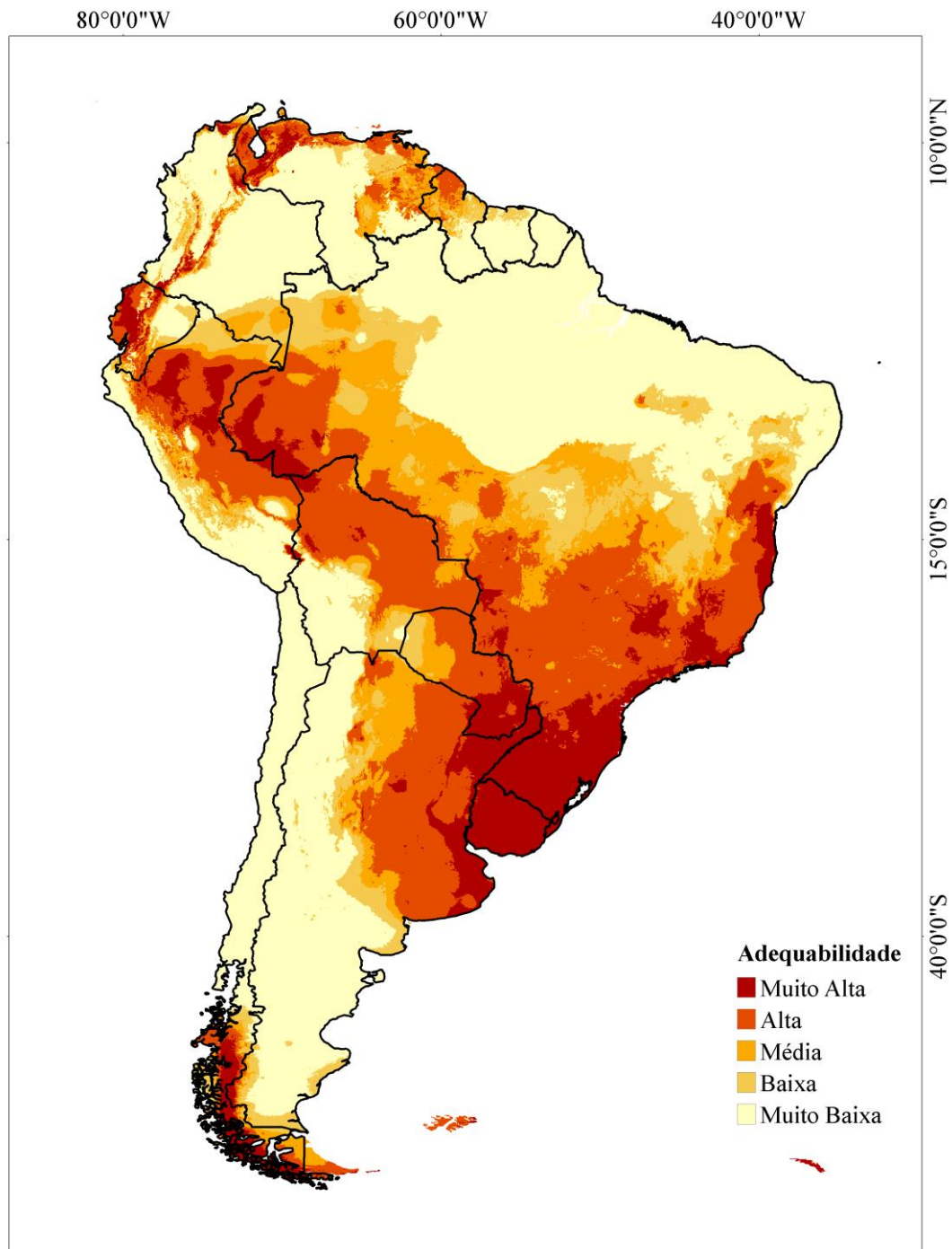


Figura 10. Adequabilidade de habitat da ave *Pyriglena leucoptera*, baseado no conjunto de preditores Bio-clim (variáveis bioclimáticas) gerado pelo Maxent, assumindo para adequabilidade média, alta e muito alta valores de limiar de corte superiores a 0,43.

Discussão

Os modelos gerados para as aves do gênero *Pyriglena*, entre todos os conjuntos de dados testados, foram considerados satisfatórios de acordo com os valores das métricas de validação adotadas, o que indica que os resultados estão distantes de uma previsão aleatória (Phillips *et al.*, 2006). Diversas variáveis podem afetar a distribuição geográfica de um organismo em diferentes níveis. Entretanto, preditores climáticos têm apresentado maior contribuição nos modelos de distribuição de espécies em relação a outros grupos de preditores, como por exemplo, cobertura do solo, influência humana e interação biótica (Anderson *et al.*, 2002; Tellería *et al.*, 2014; Bucklin *et al.*, 2015; Dymytrova *et al.*, 2016; Bradie & Leung, 2017). Esse padrão também foi observado no presente estudo, no qual variáveis climáticas tiveram maior influência nas áreas potencialmente adequadas para as aves estudadas em todos os modelos testados.

As variáveis que explicam o padrão de distribuição dos organismos mudam em diferentes escalas geográficas. Desta maneira, o clima responde por boa parte dessas explicações em macroescala (Thuiller *et al.*, 2004) e a estrutura do habitat e interações bióticas devem alterar os padrões de distribuição das espécies em escalas locais (Soberón & Peterson, 2005; Soberón, 2007). Os modelos de *Pyriglena* spp. foram gerados em escalas geográficas, o que pode explicar a alta contribuição das camadas de clima assim como a contribuição reduzida da interação biótica. De acordo com Dymytrova e colaboradores (2016), mudanças na resolução espacial para gerar modelos de distribuição de espécies usando preditores climáticos e altitude não causaram redução ou aumento dos valores de medidas de desempenho dos modelos. Ao avaliar a influência das variáveis ambientais de estrutura da paisagem em escalas variadas, os modelos multi-escala apresentaram melhor desempenho para as aves testadas incluindo *P. leucoptera* (Boscolo & Metzger, 2009). Heikkinen e colaboradores (2007) verificaram melhora no desempenho dos modelos de adequabilidade ao incluir cobertura do solo e interações bióticas em uma resolução de 10 km², a mais refinada testada no estudo.

A falta de conhecimento detalhado sobre algumas espécies estudadas compromete uma generalização dos resultados encontrados. Por exemplo, os padrões de requerimento de habitat, territorial e a vulnerabilidade a modificações na estrutura do habitat são melhor documentados para *P. leucoptera*, a qual ocorre nas regiões sul e sudeste do Brasil (Anjos & Boçon, 1999; Uezu *et al.*, 2005; Duca *et al.*, 2006; Hansbauer *et al.*, 2008a; Hansbauer *et al.*, 2008b; Hansbauer *et al.*, 2010; Boscolo & Metzger, 2011; Ribon & Marini, 2016; Barbosa *et al.*, 2017).

Os resultados do presente estudo indicam que a camada de complexidade florestal é um preditor importante para a adequabilidade de *Pyriglena*, uma vez que os modelos com os maiores valores de medidas de desempenho de *P. leuconota* e *P. pernambucensis* compreendem o conjunto Bio-veg, enquanto para *P. leucoptera* a camada de complexidade florestal teve alta contribuição no modelo Bio-veg, apesar do modelo Bio-clim ter sido considerado de melhor desempenho.

Pyriglena leucoptera habita florestas maduras, sendo que pode utilizar outras classes de habitat (floresta jovem e arbustos), ingressando até 60m na matriz. Portanto, essa espécie necessita uma matriz complexa, em que os fragmentos florestais estejam conectados (Uezu *et al.*, 2005; Hansbauer *et al.*, 2010; Boscolo & Metzger, 2011). Em paisagens fragmentadas, *P. leucoptera* foi registrada em fragmentos de tamanho maior (300 ha ou mais), com um tamanho de território variando entre 0.3 e 15.4 ha (Willis, 1979; Anjos & Boçon, 1999; Hansbauer *et al.*, 2008a; Ribon & Marini, 2016). Um fato importante é que *P. leucoptera* pode estar associada a borda florestal, um reflexo do micro-habitat que esse ambiente proporciona (Hansbauer *et al.*, 2008b). Dessa maneira, é esperada situação semelhante de exigência territorial e de habitat para as demais espécies do gênero.

O nível de especialização do comportamento de forrageio das aves dentro dos enxames de formigas pode ser uma resposta para as diferenças encontradas na contribuição da interação biótica nos modelos entre as espécies de aves (Willis & Oniki, 1978; Willis, 1981; Wrege *et al.*, 2005; Batcheller, 2017). Porém, a inclusão da adequabilidade das formigas de correição causou piora no desempenho dos modelos de *P. pernambucensis* e *P. leucoptera*, enquanto que para *P. leuconota* o efeito desta camada foi comparável ao das camadas de clima. Se a espécie é especialista neste recurso (seguidora obrigatória), a presença das formigas será fundamental para que a ave permaneça no local. As aves do gênero *Pyriglena* são consideradas seguidoras regulares, que seria um pouco menos dependente das formigas, pois na falta do recurso podem ser vistas forrageando fora dos enxames (Willis & Oniki, 1978; Willis, 1981). *P. leuconota* é descrita como extremamente eficiente no forrageio nos enxames, inclusive até mais que uma seguidora regular (Willis & Oniki, 1978), o que não é descrito com tanta precisão para as demais espécies de *Pyriglena*. O resultado sugere que esta última pode ser mais especializada que as demais espécies. Assim, a presença de *P. leuconota* pode, de fato, estar associada as regiões onde as formigas estão presentes.

Os modelos gerados para *P. leuconota* apresentaram valores de desempenho abaixo dos modelos das demais espécies. Essa espécie tem uma ampla área de distribuição e tal característica pode gerar problema de alta taxa de erros de omissão (o modelo não prevê a distribuição onde a espécie ocorre) nos modelos (Guisan & Thuiller, 2005). Assim, é possível que variações espaciais relevantes não tenham sido capturadas para *P. leuconota*. Uma maneira de resolver esse problema é elaborar os modelos dividindo os dados de ocorrência a partir de subunidades que podem ser baseadas em quadrantes geográficos, anéis concêntricos ao redor de um centroide, através de linhagens genéticas ou subespécies (Osborne & Suárez-Seoane, 2002; Hernandez *et al.*, 2006). Ao gerar modelos para uma espécie de rato na América do Norte utilizando particionamento em subespécies, Gonzalez e colaboradores (2011) observaram uma melhora na previsão, desempenho e redução das taxas de erros de omissão em relação a modelos gerados com a distribuição completa da espécie e particionamento através de quadrante. *P. leuconota* apresenta ao menos 10 subespécies que se distribuem de forma parapátrica ou alopátrica em sua região de ocorrência e essas populações habitam diferentes ambientes, os quais estão separadas por importantes barreiras físicas (como rios e terrenos elevados) (Maldonado-Coelho *et al.*, 2013; Isler & Maldonado-Coelho, 2017). Dada a grande variação ambiental a que as populações dessa espécie estão submetidas, pode ser relevante gerar a adequabilidade considerando cada subespécie e as características as quais essas estão sujeitas em escalas mais refinadas.

As principais ameaças para a conservação de *P. pernambucensis* e *P. atra*, ambas em categorias de ameaça, são a degradação, perda e fragmentação do habitat causada pelo desmatamento (Marini & Garcia, 2005; Roda, 2008; Santos, 2008). Tais processos ocorrem de forma intensa na Mata Atlântica, na qual estas espécies ocorrem (Ribeiro *et al.*, 2009; Fundação SOS Mata Atlântica, 2016). *P. pernambucensis* é uma ave endêmica do Centro de Endemismo de Pernambuco (Silveira *et al.*, 2003), região que abriga alta de riqueza de aves endêmicas e onde se concentram os remanescentes florestais em etapas sucessionais avançadas (Roda *et al.*, 2011; Pereira *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2016) e inclui aproximadamente 157 áreas protegidas (Tabarelli *et al.*, 2006; Paula, 2012). Os maiores valores de adequabilidade previstos para a espécie neste estudo incluem a região citada acima. Este panorama é favorável para *P. pernambucensis* que é encontrada em fragmentos florestais considerados em melhor estado de conservação (Roda, 2004; Pereira, 2016).

Vale lembrar que os modelos de distribuição de espécies indicam área potencialmente adequadas a ocorrência de uma espécie. Porém, estas espécies podem não ocorrer em algumas dessas regiões adequadas por conta de limitações de deslocamento (Pearson & Dawson, 2003; Soberón & Peterson, 2005). Foram verificadas áreas adequadas para *P. pernambucensis* em regiões no semiárido, conhecidas como brejos de altitude ou serras úmidas. Há registro desta espécie, ainda sobre o nome de *P. leuconota*, em um dos brejos inventariados no estado de Pernambuco, no domínio Mata Atlântica (Roda & Carlos, 2004). Porém, até então não foi verificado registros nos brejos do semiárido. Os brejos de altitude abrigam uma riqueza importante de fauna e flora, sendo áreas prioritárias para preservação da biodiversidade por sua singularidade e raridade, porém os esforços de conservação deste ecossistema têm sido escassos (Santos & Tabarelli, 2004; Theulen, 2004). O fato da *P. pernambucensis* estar associada a esse tipo de formação reafirma a necessidade de ações que visem a preservação de ambos.

A situação de *P. atra* é mais crítica que a da espécie anterior, pois a proporção de unidades de conservação em sua área de ocorrência foi inferior a 1%, além de estar em um limite de distribuição no qual os impactos dos processos de degradação do habitat são mais severos (Ribeiro, 2009). Boa parte das pesquisas sobre da espécie está concentrada no estado da Bahia (Santos, 2008) e algumas com informações antigas, que podem não representar as modificações de habitat sofridos até o presente (Willis, 1978). Apesar de tal cenário, foi criada uma Unidade de Conservação (Reserva Particular Do Patrimônio Natural - RPPN Olho-de-fogo-rendado) com o objetivo de preservação da biodiversidade da região e tendo a *P. atra* como espécie bandeira, em uma das principais ações de preservação da espécie no estado da Bahia (Brasil, 2018b). A reserva está localizada no município de São Sebastião do Passé e abriga ao menos 167 espécies de aves, destas 12 são consideradas endêmicas da Mata Atlântica, 4 em alguma categoria de ameaça, incluindo *P. atra* (Santos, 2014). Considerando informações publicadas em literatura científica para o estado de Sergipe, *P. atra* está presente em uma Unidade de Conservação estadual no município de Capela (Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco), que abriga outras espécies de fauna ameaçadas como macaco-guigó (Ruiz-Esparza *et al.*, 2015). Também há registro de sua presença em matas dos municípios de Itaporanga D'ajuda, Estância, no Parque Nacional Serra de Itabaiana, em Areia Branca (Sousa, 2009). Diante deste cenário existe uma lacuna de conhecimento sobre a sua ocorrência em escalas locais, além de outras características biológicas fundamentais para estratégias de conservação (Marini & Garcia, 2005).

Conclusões

O presente estudo trouxe conhecimento acerca de áreas potencialmente adequadas a ocorrência das aves do gênero *Pyriglena* em larga escala espacial. Os resultados sugerem uma predominância do papel das condições macroclimáticas sobre a distribuição geográfica dessas espécies, no entanto a complexidade florestal teve influência nos modelos, indicando que para essas espécies variáveis ambientais relacionadas ao habitat podem ser boas preditoras de sua distribuição. Isso traz implicações para a sua conservação, especialmente de aves dependentes de ambientes florestais, que devem ser particularmente afetadas pela destruição dos habitats, a depender do seu nível de sensibilidade. Um fato que é preocupante no cenário atual onde esse processo é cada vez mais acentuado e o número de fragmentos florestais aumenta, porém esses apresentam tamanho reduzido.

A camada de adequabilidade das formigas-de-correição não foi um bom preditor para as aves da região da Mata Atlântica, porém teve boa contribuição no modelo de *P. leuconota* que ocorre na região Amazônica, indicando que *P. leuconota* pode ser a ave do gênero mais especializada no comportamento de seguir formigas de correição. Para as demais aves, outros fatores que não foram testados aqui podem estar afetando de maneira mais forte suas áreas adequadas. Dessa maneira, um passo fundamental é a seleção das variáveis preditoras utilizadas para gerar modelos de adequabilidade de habitat, sendo essencial o conhecimento dos requerimentos ambientais da espécie testada.

A ferramenta utilizada para prever áreas adequadas para a ocorrência das espécies ameaçadas traz um suporte fundamental e torna possível indicar áreas de proteção para espécies ameaçadas, ou locais para levantamentos da espécie. Porém, um dos principais problemas para avaliar e discutir os resultados deste estudo foi a quantidade reduzida de informações a respeito da biologia e ecologia das aves do gênero *Pyriglena*. Boa parte de tais informações, como ser seguidora obrigatória ou não obrigatória de formigas-de-correição ou requerimentos de habitat, foi atribuída de espécies com mais informações a respeito desse tema.

Um direcionamento para trabalhos futuros em escala local com o gênero *Pyriglena*, especialmente para as aves da Mata Atlântica, é buscar compreender seu papel dentro da guilda trófica de seguidoras de formigas, como o processo de perda de habitat e fragmentação estão afetando suas populações ao longo de sua área de ocorrência, através de estudo mais detalhados.

Referências Bibliográficas

- Allouche, O.; Tsoar, A. & Kadmon, R. 2006. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied. Ecology**, v. 43, p.1223-1232.
- Alroy, J. 2017. Effects of habitat disturbance on tropical forest biodiversity. **Pnas**, v. 114, n. 23, p. 6056-6061.
- Anderson, R.P.; Peterson, A.T. & Gómez-Laverde, M. 2002. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. **Oikos**, v. 98: p. 3-16.
- Andrén, H. 1994. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat: a review. **Oikos**, v. 71, n. 3, p. 355-366.
- Anjos, L. & Boçon, R. 1999. Bird communities in natural forest patches in southern Brazil. **Wilson Bulletin**, v. 111, n. 3, p. 397-414.
- Araújo, M.B. & Guisan, A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 10, p. 1677-1688.
- Araújo, M.B. & Luoto, M. 2007. The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, p. 743-753.
- Austin, M.P. & Van Niel, K.P. 2011. Improving species distribution models for climate change studies: Variable selection and scale. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 1, p. 1-8.
- Barbet-Massin, M.; Jiguet, F.; Albert, C.H. & Thuiller, W. 2012. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, p. 327-338.
- Barbosa, K.V.C.; Knogge, C.; Develey, P.F.; Jenkinsa, C.N. & Uezu, A. 2017. Use of small Atlantic Forest fragments by birds in Southeast Brazil. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, p. 42-46.
- Basile, M.; Valerio, F.; Balestrieri, R.; Posillico, M.; Bucci, R.; Altea, T.; De Cinti, B. & Matteucci, G. 2016. Patchiness of forest landscape can predict species distribution better than abundance: the case of a forest-dwelling passerine, the short-toed treecreeper, in central Italy. **PeerJ**, v. 4, p.1-24.
- Batcheller, H.J. 2017. Interspecific information use by army-ant-following birds. **The Auk**, v. 134, n. 1, p. 247-255.

- BirdLife International. 2016a. *Pyriglena leuconota*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22730396A95027645.en>. Acesso em: 01 de julho de 2018.
- BirdLife International. 2016b. *Pyriglena leucoptera*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22701700A93844956.en>. Acesso em: 01 de julho de 2018.
- BirdLife International. 2016c. *Pyriglena atra*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22701703A93845126.en>>. Acesso em: 01 de julho de 2018.
- BirdLife International and Handbook of the Birds of the World. 2016d. Shape Distribuição gênero *Pyriglena*. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2018-1. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org/>>. Acesso em: 30 de novembro de 2017.
- Bradie, J. & Leung, B. 2017. A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. **Journal of Biogeography**, v. 44, p. 1344-1361.
- Brasil - Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2014. **Portarias nº 444/2014 e nº 445 de 2014. Listas das Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/especies-ameacadas-de-extincao/fauna-ameacada>>. Acesso em: 15 de junho de 2017.
- Brasil - Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2018a. **Shapes das Unidades de Conservação do Brasil**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm#>>. Acesso em: 25 de maio de 2018.
- Brasil - Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2018b. **Portaria Nº- 28, DE 10 DE MAIO DE 2011. Decreto de criação da Reserva particular do Patrimônio Natural Olho-de-fogo-rendado**. Disponível em: <<http://sistemas.icmbio.gov.br/simrppn/publico/detalhe/43/>>. Acesso em: 27 de junho de 2018.
- Boscolo, D. & Metzger, J.P. 2009. Is bird incidence in Atlantic forest fragments influenced by landscape patterns at multiple scales? **Landscape Ecology**, v. 24, p. 907-918.
- Boscolo, D. & Metzger, J.P., 2011. Isolation determines patterns of species presence in highly fragmented landscapes. **Ecography**, v. 34, p. 1-12.
- Brown, J.H. & Lomolino, M.V. 2006. **Biogeografia**. 2. Ed, Ribeirão Preto, SP: FUNPEC. 691 p.

- Bucklin, D.N.; Basille, M.; Benschoter, A.M.; Brandt, L.A.; Mazzotti, F.J.; Romañach, S.S.; Speroterra, C. & Watling, J.I. 2015. Comparing species distribution models constructed with different subsets of environmental predictors. **Diversity and Distributions**, v. 21, p. 23-35.
- Colwell, R.K. & Rangel, T.F. 2009. Hutchinson's duality: The once and future niche. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v. 106, p. 19651-19658.
- Cox, C.B.; Moore, P.D. 2009. **Biogeografia: uma abordagem ecológica e evolucionária**. 7 ed, Rio de Janeiro RJ: LTC, 398 p.
- De Marco Júnior, P.E. & Siqueira, M.F. 2009. Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista? **Megadiversidade**, v. 5, n. 1-2, p. 65-76.
- Duca, C.; Guerra, T.J. & Marini, M.A. 2006. Territory size of three Antbirds (Aves, Passeriformes) in an Atlantic Forest fragment in southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 3, p. 692-698.
- Dymytrova, L.; Stofer, S.; Ginzler, C.; Breiner, F.T. & Scheidegger, C. 2016. Forest-structure data improve distribution models of threatened habitat specialists: Implications for conservation of epiphytic lichens in forest landscapes. **Biological Conservation**, v. 196, p. 31-38.
- Elith, J.; Graham, C.H.; Anderson, R.P.; Dudík, M.; Ferrier, S.; Guisan, A. Hijmans, R. J.; Huettmann, F.; Leathwick, J.R.; Lehmann, A.; Li, J.; Lohmann, L.G.; Loiselle, B. A.; Manion, G.; Moritz, C.; Nakamura, M.; Nakazawa, Y.; Overton, J. McC.; Peterson, A.T.; Phillips, S.J.; Richardson, K.S.; Scachetti-Pereira, R.; Schapire, R.E.; Soberón, J.; Williams, S.; Wisz, M.S. & Zimmermann, N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, p. 129-151.
- Elith, J. & Leathwick, J.R. 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic**. v. 40, p. 677-697.
- Elith, J.; Phillips, S.J.; Hastie, T.; Dudík, M.; Chee, Y.E. Yates, C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, p. 43-57.
- Elton, C. 1927. **Animal ecology**. Sidwig and Jackson, London. 296p.
- Fahrig, L. Effects of habitat fragmentation on Biodiversity. 2003. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, p. 487-515.

- Fick, S.E. & Hijmans, R.J. 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, p. 4302-4315. Disponível em: <<http://worldclim.org/bioclim>>. Acesso em: 18 de maio de 2017.
- Fielding, A.H. & Bell, J.F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. **Environmental Conservation**, v. 24, p. 38-49.
- Franks, N.R. & Fletcher, C.R. 1983. Spatial patterns in army ant foraging and migration: *Eciton burchelli* on Barro Colorado Island, Panama. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 12, p. 261-270.
- Fundação SOS Mata Atlântica. 2016. **Atlas de Dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2014-2015**. Relatório técnico. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/>>. Acesso em: 22 de junho de 2018.
- Gbif.org 2017. **GBIF Occurrence *Pyriglena* spp.** Disponível em: <<http://doi.org/10.15468/dl.ywhpmz>>. Acesso em: 08 de junho de 2017.
- Gbif.org 2018. **GBIF Occurrence *Eciton burchellii* e *Labidus praedador***. Disponível em: <<https://doi.org/10.15468/dl.eloqsr>>. Acesso em: 28 de junho de 2018.
- Grinnell, J. The Niche-Relationships of the California Thrasher. 1917. **The Auk**, v. 34, n. 4, p. 427-433.
- Gonzalez, S.C.; Soto-Centeno, J.A. & Reed, D.L. 2011. Population distribution models: species distributions are better modeled using biologically relevant data partitions. **BMC Ecology**, v. 11, p. 1-10.
- Guisan, A. & Thuiller, W. 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology Letters**, v. 8, n. 9, p. 993-1009.
- Hansbauer, M.M.; Storch, I; Pimentel, R.G & Metzger, J.P. 2008a. Comparative range use by three Atlantic Forest understorey bird species in relation to forest fragmentation. **Journal of Tropical Ecology**, v. 24, p. 291-299.
- Hansbauer, M.M.; Storch, I; Leu, S; Nieto-Holguin, J.P.; Pimentel, R.G. Knauer, F. & Metzger, J.P. 2008b. Movements of neotropical understory passerines affected by anthropogenic forest edges in the Brazilian Atlantic rainforest. **Biological Conservation**, v. 141, p. 782-791.

- Hansbauer, M.M.; Storch, I.; Knauer, F.; Pilz, S.; Küchenhoff, H.; Végvari, Z.; Pimentel, R.G. & Metzger, J.P. 2010. Landscape perception by forest understory birds in the Atlantic Rainforest: black-and-white versus shades of grey. **Landscape Ecology**, v. 25, p. 407-417.
- Hansen, M.C.; Potapov, P.V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S.A.; Tyukavina, A.; Thau, D.; Stehman, S.V.; Goetz, S.J.; Loveland, T.R.; Kommareddy, A.; Egorov, A.; Chini, L.; Justice, C.O. & Townshend, J.R.G. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." **Science**, v. 342. Disponível em: <<http://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>>. Acesso em: 04 de maio de 2017.
- Heikkinen, R.K.; Luoto, M.; Virkkala, R.; Pearson, R.G. & Körber, J. 2007. Biotic interactions improve prediction of boreal bird distributions at macro-scales. **Global Ecology and Biogeography**, v. 16, p. 754-763.
- Hernandez, P.A.; Graham, C.H. Master, L.L. & Albert, D.L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. **Ecography**, v. 29, p.773-785.
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G. & Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965-1978.
- Hijmans, R. 2016a. **Spatial Data Analysis and Modeling with R**. Created by the GFC for SIIL Feed the Future. Disponível em: <<http://www.rspatial.org/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2017.
- Hijmans, R.J.; Phillips, S.; Leathwick, J. & Elith, J. 2016b. **Package Dismo. R-CRAN**. p. 67. Disponível em: <<https://cran.rproject.org/package=dismo>>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2018.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. **Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology**, v. 22, p. 415-427.
- Isler, M.L. & Maldonado-Coelho, M. 2017. Calls distinguish species of Antbirds (Aves: Passeriformes: Thamnophilidae) in the genus *Pyriglena*. **Zootaxa**, v. 2, p. 275-294.
- Leathwick, L. & Austin, M. 2001. Competitive interactions between tree species in New Zealand old-growth indigenous forests. **Ecology**, v. 82, n. 9, p. 2560-2573.

- Lima, P.C.; Lima Neto, T.N.C. 2007. Comportamento reprodutivo do olho-de-fogo-rendado *Pyriglena atra* no litoral norte da Bahia. Uma pequena contribuição. Ensaio fotográfico. **Atualidades Onitológicas On-line**, v. 4, n. 140, p. 33-50.
- Liu, C.; Berry, P.M.; Dawson, T.P. & Pearson, R.G. 2005. Selecting thresholds of occurrence in the prediction of species distributions. **Ecography**, v. 28, p. 385-393.
- Maldonado-Coelho, M.; Blake, J.G.; Silveira, L.F.; Batalha-Filho, H. & Ricklefs, R.E. 2013. Rivers, refuges and population divergence of fire-eye antbirds (*Pyriglena*) in the Amazon Basin. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 26, p. 1090-1107.
- Marini, M.Â. & Garcia, F.I. 2005. Conservação de aves no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 95-102.
- Naimi, B. & Araújo, M.B. 2016. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. **Ecography**, v. 39, p. 368-375.
- Osborne, P. & Suarez-Seoane, S. 2002. Should data be partitioned spatially before building large-scale distribution models? **Ecological Modelling**, v. 157, p. 249-259.
- Paula, L.A. 2012. Cadastro das unidades de conservação. In: Branco, B.P.C. & Melo M.D.V.C. (Orgs.). Saberes e fazeres da Mata Atlântica do Nordeste: tecendo uma rede de gestores. Recife: **Amane**, p. 69-92.
- Pearson, R.G.E. & Dawson, T.P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? **Global ecology and biogeography**, v. 12, n. 5, p. 361-371.
- Pereira, G.A.; Dantas, S.M.; Silveira, L.F.; Roda, S.A.; Albano, C.; Sonntag, F.A.; Leal, S.; Periquito, M.C.; Malacco, G.B. & Lees, A.C. 2014. Status of the globally threatened forest birds of northeast Brazil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 54, n. 14, p. 177-194.
- Pereira, G.A.; Araújo, H.F.P. & Azevedo-Júnior, S. M. 2016. Distribution and conservation of three important bird groups of the Atlantic Forest in north-east Brazil. **Brazilian Journal Biology**, v. 76, n. 4, p. 1004-1020.
- Peterson, A.T.; Soberón, J.; Pearson, R.G.; Anderson, R.P.; Martínez-Meyer, E.; Nakamura, M. & Araújo, M.B. 2011. Ecological Niches and Geographic Distributions. United States of America: Princeton: **Princeton University Press**.
- Phillips, S.J.; Dudík, M. & Schapire, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. In: **Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning**, **ACMPress**, New York, p. 655-662. Disponível em:

- <http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/>. Acesso em: 13 de maio de 2016
- Phillips, S.J.; Anderson, R.P. & Schapire, R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231-259.
- Piacentini, V.Q.; Aleixo, A.; Agne, C.E.; Maurício, G.N.; Pacheco, J.F.; Bravo, G.A.; Brito, G.R.R.; Naka, L.N.; Olmos, F.; Posso, S.; Silveira, L.F.; Betini, G.S.; Carrano, E.; Franz, I.; Lees, A.C.; Lima, L.M.; Pioli, D.; Schunck, F.; Raposo, F.A.; Bencke, G.A.; Cohn-Haft, M.; Figueiredo, L.F.A.; Straube, F.C. & Cesari, E. 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee. **Brazilian Journal of Ornithology**, v. 23, n. 2, p. 90-298.
- Pizo, M.A. & Melo, A.S. 2010. Attendance and Co-Occurrence of Birds Following Army Ants in the Atlantic Rain Forest. **The Condor**, v. 112, n.3, p. 571-578.
- R Development Core Team. 2017. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rettenmeyer, C.W.; Rettenmeyer, M.E.; Joseph, J. & Berghoff, S.M. 2011. The largest animal association centered on one species: the army ant *Eciton burchellii* and its more than 300 associates. **Insectes Sociaux**, v. 58, p. 281-292.
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P. Martensen, A.C. Ponzoni, F. & Hirota, M. 2009. Brazilian Atlantic forest: how much is left and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, p. 1141-1153.
- Ribon, R. & Marini, M. 2016. Small territory sizes and high densities of insectivorous birds in an Atlantic Forest secondary fragment, Brazil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 24, n. 4, p. 303-313.
- Roda, S.A. 2004. Aves da usina Cucaú, Pernambuco. **Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste**, Série relatórios da avifauna 02. 30 p.
- Roda, S.A. 2008. *Pyriglena leuconota pernambucensis* Zimmer, 1931, p. 615-616. In: Machado, A.B.M.; Drummond, G.M.; Paglia, A.P. (Orgs.). **Livro Vermelho da Fauna Ameaçada de Extinção no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente e Fundação Biodiversitas, v. 2, 460 p.
- Roda, S.A. & Carlos, C.J. 2004. Composição e Sensitividade da Avifauna dos Brejos de Altitude do Estado de Pernambuco. In: Porto, K.C.; Cabral, J.J.P. & Tabarelli, M. (orgs.).

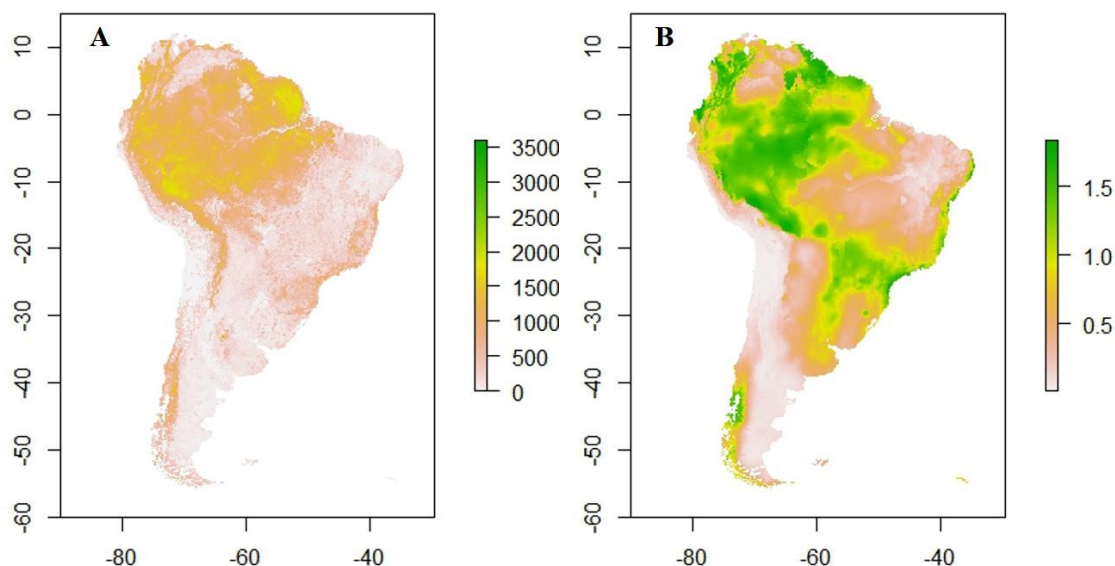
- Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação.** (Série Biodiversidade, 9). Brasília Ministério do Meio Ambiente, 324 p.
- Roda, S.A.; Pereira, G.A. & Albano, C. 2011. Conservação de Aves Endêmicas do Centro de Endemismo Pernambuco. Recife, **Ed. Universitária da UFPE**. 79 p.
- Ruiz-Esparza, J.; Silva, C.S.; Cunha, M.A.; Ruiz-Esparza, D.P.B.; Rocha, P.A.; Beltrão-Mendes, R. & Ferrari, S. 2015. Diversity of birds in the Mata do Junco State Wildlife Refuge, a remnant of the Atlantic Forest of Northeastern Brazil. **Check List**, v. 11, n. 3, p. 1-10.
- Santos, A.M.M. & Tabarelli, M. 2004. Integridade, Esforço e Diretrizes para Conservação dos Brejos de Altitude da Paraíba e Pernambuco. In: Porto, K.C.; Cabral, J.J.P. & Tabarelli, M. Marcelo. (Orgs.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação.** (Série Biodiversidade, 9). Brasília Ministério do Meio Ambiente, 324 p.
- Santos, S.S. *Pyriglena atra* (Swainson, 1825). 2008. Machado, A.B.M.; Drummond, G.M. & Paglia, A.P. (Orgs.) **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção.** 1. edição. Belo Horizonte MMA, Fundação Biodiversitas: v. 2, 460 p.
- Santos, S.S. 2014. **Plano de Manejo da RPPN Olho-de-fogo-rendado.** Disponível em:<http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/docs-planos-de-manejo/rppn_olho_de_fogo_rendado_pm.pdf>. Acesso em: 13 de junho de 2018.
- Sazima, I. & D'Angelo, G.B. 2015. Associações de aves com insetos sociais: um sumário no Sudeste do Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 105, n. 3, p. 333-338.
- Sick, H. 1997. **Ornitologia brasileira.** 2. edição. Rio de Janeiro: Nova Fronteira. 912 p.
- Silva, D.P. 2014. Seeking the flowers for the bees: Integrating biotic interactions into niche models to assess the distribution of the exotic bee species *Lithurgus huberi* in South America. **Ecological Modelling**, v. 273, p. 200-209.
- Silveira, L.F.; Olmos, F. & Long, A. 2003. Birds in Atlantic Forest Fragments in north-east Brazil. **Cotinga**, n. 20, p. 32-46.
- Simard, M.; Pinto, N.; Fisher, J.B. & Baccini, A. 2011. Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar. **Journal of Geophysical Research**, v. 116, G04021, doi:10.1029/2011JG001708.

- Soberón, J. & Peterson, A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. **Biodiversity Informatics**, v. 2, p. 1-10.
- Soberón, J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. **Ecology Letters**, v. 10, n. 12, p. 1115-1123.
- Soberón, J. & Nakamura, M. 2009. Niches and distributional areas: Concepts, methods, and assumptions. **Pnas**, v. 106, p. 19644-19650.
- Soberón, J.; Osorio-Olvera, L. & Peterson, L. 2017. Conceptual differences between ecological niche modeling and species distribution modeling. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 88, n. 2, p. 437-441.
- Sousa, M.C. 2009. As aves de oito localidades do Estado de Sergipe. **Atualidades Ornitológicas On-line**, v. 2, n. 149, p. 33-57.
- Stotz, D.F.; Fitzpatrick, J.W.; Parker, III T. & Moskovits, D.K. 1996. **Neotropical Birds: Ecology and Conservation**. Chicago, Illinois: University of Chicago Press, p. 144-478.
- Swartz, M.B. 2001. Bivouac checking, a novel behavior distinguishing obligate from opportunistic species of army-ant-following birds. **The Condor**, v. 103, p. 629-633.
- Tabarelli, M., Siqueira-Filho, J.A. & Santos, A.M.M. 2006. Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco. In: K.C. Pôrto, J.S. Almeida-Cortez and M. Tabarelli. **Biodiversidade Biológica e Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 41-48.
- Tellería, J.L.; Fernández-López, J. & Fandos, G. 2014. Using ring records and field surveys to predict the winter distribution of a migratory passerine. **Bird Study**, v. 61, n. 4, p. 527-536.
- Theulen, V. 2004. Conservação dos Brejos de Altitude no Estado de Pernambuco. In: Porto, K.C.; Cabral, J.J.P. & Tabarelli, M. (orgs.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. (Série Biodiversidade, 9). Brasília Ministério do Meio Ambiente, 324 p.
- Thuiller, W.; Araújo, M.B. & Lalorell, S. 2004. Do we need land-cover data to model species distributions in Europe? **Journal of Biogeography**, v. 31, p. 353-361.
- Thuiller, W.; Lafourcade, B.; Engler, R. & Araújo, M.B. 2009. BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. **Ecography**, v. 32, p. 369-373.
- Uezu, A.; Metzger, J.P. & Vielliard, J.M. 2005. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. **Biological Conservation**, v. 123, p. 507-519.

- Wrege, P.H.; Wikelski, M.; Mandel, J.T.; Rassweiler, T. & Couzin; I.D. 2005. Antbirds parasitize foraging army ants. **Ecology**, v. 86, n. 3, p. 555-559.
- Willis, E.O. 1981. Diversity in adversity: the behaviors of two subordinate antbirds. **Arquivos de Zoologia**, v. 30, n. 3, p. 159-234.
- Willis, E.O. & Oniki, Y. 1978. Birds and army ants. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**. v. 9, p. 243-263.
- Willis, E.O. & Oniki, Y. 2008. Aves seguidoras de correições de formigas nas Américas e África. **Revista ACOALFaplp: Acolhendo a Alfabetização nos Países de Língua portuguesa**, v. 2, n. 4, p. 301-320. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.11606/issn.1980-7686.v2i4p301-320>>. Acesso em: 25 de maio de 2016.
- Willson, S.K. 2004. Obligate army-ant-following birds: a study of ecology, spatial movement patterns, and behavior in Amazonian Peru. **Ornithological Monographs**, v. 55, p 1-67.
- Wisz, M.S.; Hijmans, R.J.; Li, J.; Peterson, A.T.; Graham, C.H. & Guisan, A. 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. **Diversity and Distributions**, v. 14, n. 5, p. 763-773.
- Wisz, M.S.; Pottier, J.; Kissling, W.D.; Pellissier, L.; Lenoir, J.; Damgaard, C.F.; Dormann, C.F.; Forchhammer, M.C.; Grytnes, J.; Guisan, A.; Heikkinen, R.K.; Høye, T.T.; Kühn, I.; Luoto, M.; Maiorano, L.; Nilsson, M.C.; Normand, S.; Öckinger, E.; Schmidt, M.T.; Timmermann, A.; Wardle, D.A.; Aastrup, P. & Svenning, J.C. 2013. The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. **Biological Reviews**, v. 88, p. 15-30.

Apêndices

Apêndice 1. a) Camada de complexidade florestal gerada a partir da combinação entre as camadas de cobertura florestal (Hansen *et al.*, 2013) e altura do dossel (Simard *et al.*, 2011); b) Camada de adequabilidade das formigas gerada a partir da soma dos modelos de adequabilidade de *Eciton burchellii* (Westwood, 1842) e *Labidus praedator* (Smith, F., 1858).



Apêndice 2. Tabela com valores de importância relativa das variáveis testadas em cada conjunto de preditores para aves do gênero *Pyriglena*. Variáveis predictoras: BIO2 = Variação da média diurna (média por mês (Temp. máx. – Temp. min.)); BIO7 = Variação da temperatura anual (BIO5-BIO6); BIO8 = Temperatura média do trimestre mais chuvoso; BIO9 = Temperatura média do trimestre mais seco; BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente, BIO12 = Precipitação anual, BIO13 = Precipitação do mês mais chuvoso, BIO15 = Sazonalidade da Precipitação (coeficiente de Variação) BIO17 = Precipitação do trimestre mais seco, BIO18 = Precipitação do trimestre mais quente; BIO19 = Precipitação do trimestre mais frio; AF = adequabilidade das formigas; CF = complexidade florestal. Conjunto de variáveis predictoras (CVP): Bio-clim) variáveis bioclimáticas; Bio-int) variáveis bioclimáticas mais interação biótica; Bio-veg) variáveis bioclimáticas mais camada de complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores.

<i>P. leuconota</i>				
Variáveis/CVP	Bio-clim	Bio-int	Bio-veg	Bio-com
BIO2	0,258311	0,199961	0,205026	0,173004
BIO15	0,152429	0,124286	0,122676	0,145326
BIO17	0,10034	0,116642	0,106657	0,152538
BIO18	0,213082	0,182037	0,219694	0,175729
BIO19	0,275838	0,200783	0,219362	0,162495
AF	-	0,176291	-	0,13403
CF	-	-	0,126586	0,056878

<i>P. pernambucensis</i>				
Variáveis/CVP	Bio-clim	Bio-int	Bio-veg	Bio-com
BIO7	0,072749	0,182506	0,107645	0,157182
BIO8	0,200019	0,179735	0,160918	0,137946
BIO9	0,245939	0,1925	0,190417	0,159411
BIO12	0,24703	0,192725	0,186864	0,15961
BIO15	0,234263	0,183374	0,188989	0,148757
AF	-	0,069161	-	0,107468
CF	-	-	0,165167	0,129626
<i>P. atra</i>				
Variáveis/CVP	Bio-clim	Bio-int	Bio-veg	Bio-com
BIO2	0,091728	0,189103	0,143687	0,14695
BIO7	0,276749	0,195712	0,197084	0,157436
BIO10	0,183685	0,199769	0,197688	0,159716
BIO13	0,274023	0,199871	0,179752	0,159418
BIO18	0,173815	0,199806	0,198744	0,159699
AF	-	0,015739	-	0,09482
CF	-	-	0,083046	0,121961
<i>P. leucoptera</i>				
Variáveis/CVP	Bio-clim	Bio-int	Bio-veg	Bio-com
BIO2	0,257356	0,199934	0,210824	0,175543
BIO15	0,186791	0,166885	0,194207	0,134913
BIO17	0,234898	0,20174	0,115154	0,147151
BIO18	0,207908	0,215122	0,180008	0,178822
BIO19	0,113047	0,196886	0,10367	0,096536
AF	-	0,019433	-	0,112243
CF	-	-	0,196137	0,154793

Apêndice 3. Resultado da comparação par a par do teste de Wilcoxon das métricas AUC (*Area Under the Curve*) e TSS (*True Skill Statistic*), para as espécies de aves do gênero *Pyriglena*. Conjunto de variáveis preditores (CVP): Bio-clim) bioclimático; Bio-int) bioclimático e adequabilidade das formigas; Bio-veg) bioclimático e complexidade florestal; Bio-com) modelos usando todas as variáveis dos modelos anteriores.

AUC				TSS			
<i>P. leuconota</i>				<i>P. leuconota</i>			
CVP/CVP	Bio-clim	Bio-com	Bio-int	CVP/CVP	Bio-clim	Bio-com	Bio-int
Bio-com	< 2e-16	-	-	Bio-com	<2e-16	-	-
Bio-int	0,31	< 2e-16	-	Bio-int	1,00E-12	<2e-16	-
Bio-veg	< 2e-16	4,80E-13	< 2e-16	Bio-veg	<2e-16	0,91	<2e-16
<i>P. pernambucensis</i>				<i>P. pernambucensis</i>			
CVP/CVP	Bio-clim	Bio-com	Bio-int	CVP/CVP	Bio-clim	Bio-com	Bio-int
Bio-com	0,52	-	-	Bio-com	0,012	-	-
Bio-int	< 2e-16	< 2e-16	-	Bio-int	5,90E-09	8,60E-06	-
Bio-veg	1,00E-10	2,70E-10	< 2e-16	Bio-veg	< 2e-16	< 2e-16	< 2e-16
<i>P. atra</i>				<i>P. atra</i>			
CVP/CVP	Bio-clim	Bio-com	Bio-int	CVP/CVP	Bio-clim	Bio-com	Bio-int
Bio-com	< 2e-16	-	-	Bio-com	< 2e-16	-	-
Bio-int	< 2e-16	0,34834	-	Bio-int	5,50E-07	< 2e-16	-
Bio-veg	< 2e-16	2,60E-05	0,00014	Bio-veg	< 2e-16	0,3	< 2e-16
<i>P. leucoptera</i>				<i>P. leucoptera</i>			
CVP/CVP	Bio-clim	Bio-com	Bio-int	CVP/CVP	Bio-clim	Bio-com	Bio-int
Bio-com	<2e-16	-	-	Bio-com	< 2e-16	-	-
Bio-int	<2e-16	<2e-16	-	Bio-int	< 2e-16	< 2e-16	-
Bio-veg	<2e-16	0,92	<2e-16	Bio-veg	8,60E-16	3,50E-07	< 2e-16

Apêndice 4: Lista de Unidades de Conservação localizadas dentro das áreas adequadas indicadas nos modelos de distribuição das aves *P. pernambucensis* (PP) e *P. atra* (PA)

Espécie	Nome da UC	Área(km ²)
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata São João da Várzea	0.66
PP	Área de Proteção Ambiental de Piaçabuçu	91.18
PP	Refúgio da Vida Silvestre Mata do Toró	0.82
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Cachoeira	0.34
PP	Área de Proteção Ambiental Aldeia-Beberibe	317.87
PP	Refúgio da Vida Silvestre Mata do Engenho Uchôa	1.78
PP	Estação Ecológica de Murici	61.45
PP	Área de Proteção Ambiental de Guadalupe	440.83
PP	Área de Relevante Interesse Ecológica Manguezais da Foz do Rio Mamanguape	57.93
PP	Parque Estadual Mata do Zumbi	2.90
PP	Área de Proteção Ambiental de Santa Cruz	389.20
PP	Área de Proteção Ambiental da Marituba do Peixe	185.56
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata do Camucim	0.37
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Saint Michel 1	0.78
PP	Refúgio de Vida Silvestre Engenho Moreninho	0.63
PP	Área de Proteção Ambiental de Sirinhaém	75.90
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata do Buraquinho	5.15
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata de Miritiba	2.85
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata de Bom Jardim	2.28
PP	Reserva Extrativista Marinha da Lagoa do Jequiá	102.16
PP	Refúgio de Vida Silvestre Matas do Sistema Gurjaú	13.53
PP	Floresta Nacional de Nísia Floresta	1.69
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Saint Michel 2	0.05
PP	Área de Proteção Ambiental Piquiri-uma	414.88
PP	Parque Natural Municipal do Forte de Tamandaré	3.48
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata Serra do Cotovelo	0.88
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Mata Estrela	20.47
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Maria Maria	0.04
PP	Área de Proteção Ambiental Bonfim/Guaráira	426.25
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata de Mussaíba	3.16
PP	Área de Proteção Ambiental de Santa Rita	99.19
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Serra do Contente	0.09
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Saint Michel 3	0.02
PP	Parque Estadual de Dois Irmãos	2.33
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Madeiras	1.25
PP	Estação Ecológica de Caetés	1.51
PP	Estação Ecológica Bitá e Utinga	24.75
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata do Quizanga	1.68
PP	Reserva Biológica de Saltinho	5.65
PP	Refúgio de Vida Silvestre Serra do Cumaru	3.57
PP	Parque Estadual Mata de Duas Lagoas	1.38
PP	Reserva Particular do Patrimônio Natural Santa Fé	0.18
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata do Contra-açude	1.31
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata de Caraúna	1.65
PP	Reserva Extrativista Acaú-goiana	67.06
PP	Área de Proteção Ambiental de Jenipabu	18.79
PP	Refúgio da Vida Silvestre Mata do Engenho Salgadinho	2.60

PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata de Tapacurá	0.96
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata da Usina São José	2.91
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata do Outeiro Do Pedro	0.47
PP	Área de Proteção Ambiental Barra do Rio Mamanguape	149.79
PP	Área de Relevante Interesse Ecológico da Barra do Rio Camaratuba	1.68
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata do Urucu	5.33
PP	Área de Proteção Ambiental de Muricí	1298.02
PP	Reserva Biológica de Pedra Talhada	43.88
PP	Refúgio de Vida Silvestre Mata do Curado	1.02
PP	Reserva Biológica Guaribas	40.66
PA	Parque Nacional da Serra de Itabaiana	49.98
PA	Floresta Nacional do Ibura	1.44
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural Curió	0.13
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural Olho-de-Fogo-Rendado	1.04
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural Mata do Guigo	0.36
PA	Reserva Biológica de Santa Isabel	5.23
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Jequitibá	6.15
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural Pirangy	0.14
PA	Área de Proteção Ambiental Plataforma Continental do Litoral Norte	0.00
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural Dunas de Santo Antônio	0.96
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural das Dunas	0.13
PA	Área de Proteção Ambiental Baía de Todos os Santos	59.21
PA	Área de Proteção Ambiental Bacia do Cobre / São Bartolomeu	11.71
PA	Reserva Extrativista Marinha da Baía de Iguapé	6.73
PA	Área de Proteção Ambiental Lagoas e Dunas do Abaeté	3.09
PA	Refúgio de Vida Silvestre Mata do Junco	8.95
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural do Caju	0.02
PA	Área de Proteção Ambiental Lagoas de Guarajuba	1.05
PA	Reserva Particular do Patrimônio Natural Mato da Onça	0.27
PA	Munumento Natural dos Canions do Subaé	4.04
